

Türkiye YES Endeksi ile Uluslararası Yenilenebilir Enerji Endeksleri Arasında Eşbütünleşme ve Nedensellik Cointegration and Causality Relationship between Renewable Energy Indices

Fazlı IRMAK ^a

^a Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bafra Meslek Yüksekokulu, Muhasebe ve Vergi Bölümü, Çanakkale, Türkiye. fazli.irmak@omu.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ	ÖZET
Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji PCA Eşbütünleşme VECM Dürtü-tepki fonksiyonu	Amaç – Bu çalışmanın amacı, Türkiye için hesaplanan yenilenebilir enerji sektörel endeksi ile ABD ve küresel piyasalarda işlem gören seçili yenilenebilir enerji sektörel endeksleri arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkiler incelemektir. Bu kapsamda Türkiye'nin yenilenebilir enerji piyasasının uluslararası endekslerle ne ölçüde entegre olduğunu değerlendirmek amaçlanmıştır. Yöntem – Çalışmada 02.01.2020-10.01.2025 dönemine ait günlük kapanış verileri kullanılmıştır. Borsa İstanbul'da yenilenebilir enerji alanında faaliyet gösteren 24 şirketin borsa kapanış fiyatlarından PCA yöntemiyle YES endeksi elde edilmiştir. Serilerin I (1) seviyede olduğu, ADF, PP ve Zivot-Andrews testleriyle doğrulandıktan sonra uzun dönemli ilişkiler Gregory-Hansen eşbütünleşme testi incelenmiştir. Kısa ve uzun dönemli ilişkiler için VECM modeli kullanılmıştır. Granger nedensellik analizi ile nedensellik yönü belirlenmiş ve dürtü-tepki analizi ile YES değişkenine verilen şoklara ABD ve küresel enerji endekslerinin tepkisi belirlenmiştir. Bulgular – Sonuçlar, YES endeksi ile ABD/küresel yenilenebilir enerji endeksleri arasında yapısal kırılma altında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin varlığını göstermektedir. VECM uzun dönem katsayılarına göre YES endeksi MAC ve GSPTXCT ile pozitif, GWE, RENIXX, ERIX ve DWCAEG ile negatif yönde ilişkilidir. Hata düzeltme katsayısı -0.009458 olup YES'teki dengesizliklerin yaklaşık 106 günde dengelendiğini göstermektedir. Kısa dönemde YES üzerindeki etkiler GWE, RENIXX, GSPTXCT ve DWCAEG tarafından belirlenmektedir. Granger testi YES ile GWE arasında iki yönlü nedensellik, YES'ten MAC, DWCAEG ve RENIXX'e tek yönlü nedensellik olduğunu ortaya koymuştur. Tartışma – Bulgular, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasının uluslararası endekslerle hem kısa hem de uzun vadede önemli ölçüde bağlantılı olduğunu göstermektedir. Bu durum, küresel piyasalardaki fiyatlama davranışlarının Türkiye üzerindeki etkisini artırmaktadır. Bulgular, portföy yöneticileri için yenilenebilir enerji sektöründe çeşitlendirme imkanlarının sınırlı ve bulaşma riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Türkiye özelinde YES endeksinin oluşturulması sonrası elde edilen bulgular, piyasaların entegrasyon düzeyinin daha sağlıklı değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.
Gönderilme Tarihi 22 Mayıs 2025 Revizyon Tarihi 28 Ocak 2026 Kabul Tarihi 10 Şubat 2026	
Makale Kategorisi: Araştırma Makalesi	

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Keywords: Renewable energy PCA Cointegration VECM Impulse-response function	Purpose – The aim of this study is to examine the short- and long-run relationships between the renewable energy sector index constructed for Türkiye and selected renewable energy sectoral indices traded in the U.S. and global markets. Within this scope, the study evaluates the extent to which Türkiye's renewable energy market is integrated with international renewable energy indices. Design/methodology/approach – The analysis employs daily closing prices for the period 02.01.2020–10.01.2025. A Türkiye-specific renewable energy index (YES) was constructed using the PCA method based on the stock prices of 24 renewable energy companies listed on Borsa İstanbul. After confirming that all series are integrated of order one, I (1), through ADF, PP, and Zivot-Andrews unit root tests, we examine long-run relationships using the Gregory-Hansen cointegration test with structural breaks. Short- and long-run dynamics are analyzed using a Vector Error Correction Model (VECM). The direction of causality is assessed using Granger causality tests, while impulse-response analysis is employed to evaluate how U.S. and global renewable energy indices respond to shocks originating from the YES index. Results – The results indicate the existence of a long-run cointegration relationship between the YES index and the US/global renewable energy indices in the presence of structural breaks. According to the long-run VECM coefficients, the YES index is positively associated with MAC and GSPTXCT but negatively related to GWE, RENIXX, ERIX, and DWCAEG. The error correction coefficient is estimated as -0.009458, implying that deviations from the long-run equilibrium in the YES index are
Received 22 May 2025 Revised 28 January 2026 Accepted 10 February 2026	

ETİK ONAY: Bu çalışmada ikincil veriler kullanılmış olup etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Önerilen Atıf/ Suggested Citation

Irmak, F. (2026). Türkiye YES Endeksi ile Uluslararası Yenilenebilir Enerji Endeksleri Arasında Eşbütünleşme ve Nedensellik, İşletme Araştırmaları Dergisi, 18 (1), 286-309.

corrected in approximately 106 days. In the short run, fluctuations in the YES index are primarily driven by GWE, RENIXX, GSPTXCT and DWCAEG. Granger causality analysis reveals bidirectional causality between YES and GWE and unidirectional causality running from YES to MAC, DWCAEG, and RENIXX.

Article Classification:

Research Article

Discussion – The findings demonstrate that Türkiye’s renewable energy market is significantly linked to international renewable energy indices in both the short and long runs, indicating a strong degree of market integration. Such integration implies that pricing dynamics in global renewable energy markets exert a substantial influence on Türkiye’s domestic market. The results further suggest that diversification opportunities within the renewable energy sector are limited, whereas the potential for spillover and contagion risk remains high, which is an important consideration for portfolio managers and investors. The construction of the YES index as a Türkiye-specific benchmark provides a more accurate basis for evaluating the integration of domestic renewable energy markets with their global counterparts and enhances the analytical clarity of cross-market linkages.

1. Giriş

Küresel anlamda 1980’li yıllardan itibaren ülkeler finansal liberalizasyon sürecini başlatarak dünya ekonomisine uyum sağlamaya başlamışlardır (Dinar, 2012: 110). Özellikle 1990’lı yılların başlangıcından itibaren dünya ekonomisinde yerel sermaye piyasaları uluslararasılaşması süreciyle hızlı bir şekilde liberalleşerek mal ve hizmetlerin yanı sıra sermaye unsurunun da küresel anlamda dolaşımı gündeme gelmiştir (Başoğlu, 2000: 89). Finansal liberalizasyon, ülkeler arasında sermayenin kolay dolaşımını engelleyebilecek faktörleri ortadan kaldırarak, sermayenin ülkeler arasında kolayca dolaşımı olarak ifade edilebilir (Mangır ve Yılmaz, 2009: 193). Günümüzde yatırımcılar birçok farklı ülke piyasalarında işlem gören finansal araçlara erişme imkanına sahiptir. İletişim teknolojilerindeki gelişmeler ve bilgi akışının hızlı ve maliyetsiz oluşu yatırımcıların dünyanın her yerindeki finansal varlıklarla ilgili bilgilere ulaşma imkanlarını sağlayarak finansal piyasalar arasındaki varlık ve parasal hareketlerin artmasına neden olmuştur (Şenol ve Türkay, 2020: 362). Finansal serbestleşmeyle birlikte yatırımların finansmanında içerden ve dışarıdan kredi bulma imkânı kolaylaşmaktadır. Ayrıca faiz oranlarının serbest bırakılması ekonomide tasarruf algısını artırarak, gelirlerinin büyük bir kısmının finansal varlık şeklinde tutulmasını sağlamaktadır. Bu durum likidite ihtiyacının azalmasına ve yatırımlar için gerekli fonların temin edilmesini kolaylaştırmaktadır (Güloğlu ve Altunoğlu, 2002: 108). Ayrıca dünya kaynaklarının daha etkin kullanılmasının yanında yatırımcılar ve firmalar açısından ülke içinde var olan sistematik riskin yurt dışı yatırımları ile dağıtılmasına imkân sağlamaktadır (Çelik ve Boztosun, 2010: 58). Mensi vd.’ne (2016) göre, bu dönüşüm süreci yabancı yatırımcıların yerel piyasaların hisse senetlerini tutmalarına imkân sağlayarak gelişmekte olan ülke piyasalarının yatırımcı tabanını genişletmiştir. Ayrıca gelişmekte olan piyasaların kredi imkanlarına katkı sağlayarak daha likit hale getirmiş (Karakoç, 2020: 32), güvenilirliklerini, görünürlüklerini ve şeffaflıklarını artırmış, piyasa büyüklüklerini ve derinliklerini iyileştirmiş ve özellikle küçük hissedarlar olmak üzere yatırımcıların korunmasını güçlendirmiştir.

Çeşitli borsalar arasındaki karşılıklı bağımlılık konusu her zaman bir tartışma ve araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Borsaların ne ölçüde birbirine bağlı veya birbirine bağımlı olduğu, dünya genelindeki portföy yöneticileri ve yatırımcılar açısından oldukça önemlidir (Rastogi, 2013: 304). Eğer gelişmekte olan ülke piyasaları ile gelişmiş ülke piyasaları arasındaki entegrasyon zayıf ise dış şokların gelişmekte olan piyasalar üzerindeki etkisi sınırlı olabilmektedir. Bu durumda gelişmiş ülke yatırımcıları portföylerine zayıf entegrasyona sahip gelişmekte olan ülkelerin hisse senetlerini dahil ederek fayda sağlayabilirler çünkü bu çeşitlendirme riski azaltmaktadır (Hassan ve Naka, 1996: 388). Diğer taraftan gelişmekte olan hisse senedi piyasalar ile gelişmiş hisse senedi piyasaları arasında çok yüksek bir entegrasyon var ise bu durumda gelişmekte olan piyasalardaki oynaklık, gelişmiş ülke piyasalarındaki oynaklıklar tarafından belirleneceği için azalabilir ve gelişmekte olan piyasadaki yatırımcılar düşük sermaye maliyetinden faydalanabilirler (Li ve Giles, 2015: 156; Bala ve Takimoto, 2017: 26). Bu anlamda ülkeler arasındaki hisse senedi piyasaları arasındaki ilişkiyi tespit etmek, finansal kurumlar, portföy yöneticileri, risk yönetimi, portföy çeşitlendirmesi, riskten korunma, yatırım kararları ve fiyat keşfi açısından oldukça önemlidir (Şenol ve Türkay, 2020: 363).

Fosil enerji kaynaklarının tükenebilir olması ve fosil enerji kaynaklarından nedeniyle ortaya çıkan çevresel ve küresel problemler insanoğlunu yeni enerji kaynakları arayışına itmiştir. Bu arayış, insanoğlunu çevreyi kirletmeyen, doğada hazır bir şekilde bulunan, tüketildiğinde kendisini hızlı bir şekilde yenileyebilen enerji kaynaklarına yönlendirmiştir (Seyhan ve Seyhan, 2022: 1024). 2024 yılı aralık ayı itibarıyla Türkiye’nin elektrik enerjisi kurulu gücü 115,975 MW’a ulaşmıştır. Aynı dönem itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı

ise şu şekildedir: % 27,8'i hidrolik, % 21,3'ü doğal gaz, % 18,9'u kömür, % 17,1'i güneş, % 11,1'i rüzgar, % 1,5'si jeotermal ve % 2,3'i ise diğer enerji kaynaklarıdır. Yani enerji üretimin yaklaşık % 59,8'i yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları incelendiğinde güneş enerjisi kaynaklarından üretilen elektriğin önemli ölçüde arttığını söylemek mümkündür. 2016 yılında güneş enerjisinden elde edilen enerjinin, toplam kurulu güç içerisindeki ağırlığı % 1,06 iken 2024 yılında bu oranın % 17,1'e ulaştığı dikkat çekmektedir. Yine aynı dönem içerisinde rüzgar enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki ağırlığı yaklaşık % 4 artmıştır. (ETKB, 2024).

Son yıllarda da yenilenebilir enerji yatırımlarını hızlandırıcı politik kararlar alınmaya başlanmıştır. ABD'de 2022 yılında yürürlüğe giren Inflation Reduction Act (IRA), yenilenebilir enerji üretimi, depolama ve tedarik zincirine ilişkin vergi teşviklerini kapsamaktadır. Diğer taraftan Avrupa Birliği'nin REPowerEU programı, fosil yakıtlardan çıkışı desteklemek için sübvansiyonları ve yatırım fonları tahsis etmiştir (European Commission, 2022). Bu yatırımlar, yenilenebilir enerji alanında ivmeyi artırmıştır. Türkiye'de yenilenebilir enerji alanında göstermiş olduğu gelişime bağlı olarak yenilenebilir enerji alanında Borsa İstanbul'a (BİST) katılımlar ilk olarak 2013 yılında SAYAS firması ile başlamıştır (Kılıçarslan, 2023: 235).

Yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki ilişkilerin analizi, üç temel kurumsal yapı ile ilişkilendirilebilir. İlk olarak, Markowitz'in (1952) modern portföy teorisidir. Bu teori uluslararası piyasalarda düşük korelasyonlu varlıkların portföy riskini azaltacağını belirtmektedir. Bu nedenle endeksler arasındaki uzun dönemli eşbütünleşme, yatırımcılar için çeşitlendirme faydasını göstermektedir. İkinci olarak piyasa entegrasyonudur. Piyasa entegrasyonu piyasalar arasında bilgi akışının olduğunu ve sermaye hareketlerinin bilgi akışı ile birlikte hareket ettiğini belirtmektedir (Bekaert ve Harvey, 1995). Entegre piyasalarda uzun dönem hata katsayıları ve hata düzeltme mekanizması, piyasaların ne ölçüde birbirine bağlı olduğunu göstermektedir. Üçüncü kurumsal yapı ise, bulaşma ve taşma literatürüdür (Forbes ve Rigobon, 2002). Bu literatür, uluslararası piyasalarda şokların diğer piyasalara doğrudan veya volatilité kanalıyla aktarılabilirliğini öne sürmektedir. Özellikle volatilité taşma modelleri (Engle, 2002), piyasa oynaklığının zamanla birlikte hareket edip etmediğini ölçerek finansal bulaşmanın varlığına ilişkin ampirik kanıtlar arar. Bu kuramsal temeller doğrultusunda eşbütünleşme, nedensellik ve dürtü-tepki bulguları, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasının küresel endekslerle entegrasyon düzeyinin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Finansal serbestleşmeyle birlikte yatırımcılar ve portföy yöneticileri dünyanın birçok ülkesinde yatırım yapma imkanına kavuşmuştur. Uluslararası düzeyde yatırım yapan yatırımcılar, yatırım yaptıkları/yapacakları ülke borsaları ile kendi ülke borsaları arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişki, nedensel ilişki, oynaklık yayılımı gibi faktörleri dikkate almaları portföy riskinin azaltılması noktasında hayati öneme sahiptir. Bu anlamda çalışmada, Türkiye'de yenilenebilir enerji alanında faaliyet gösteren yenilenebilir enerji firmalarından elde edilen Türkiye Yenilenebilir Enerji Endeksi (YES) ile ABD borsalarında yer alan yenilenebilir enerji sektörel endeksleri ve küresel yenilenebilir enerji sektörel endeksi arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle 21 yy.'ın ilk çeyreğinde önemi giderek artan yenilenebilir enerji yatırımları, yenilenebilir enerji firmalarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda birçok yatırımcılar ve portföy yöneticileri için yenilenebilir enerji firmaları portföylerde yerini almıştır. Borsa İstanbul'da yenilenebilir enerji sektörel endeks oluşturulması ve bu endeksin küresel yenilenebilir enerji sektörel endeksleri ile ilişkisini ele alan çalışmaya rastlanmamıştır. Bu anlamda çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması, çeşitlendirmenin portföy riskinin etkin yönetimini destekleyeceği savından hareketle, çalışma sonuçlarının bireysel ve kurumsal yatırımcılara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Türkiye özelinde BİST'de yenilenebilir enerji sektörel endeksinin bulunmadığı belirlenmiştir. Çalışmada PCA yöntemi ile hesaplanan YES sektörel endeksi, kurumsal karar alıcılar için enerji piyasasına olan ilgiyi dikkate alarak alternatif enerji alanında faaliyet gösteren firmaları kapsayan yeni bir enerji endeksi oluşturulması için motivasyon sağlayacağı düşünülmektedir.

Yenilenebilir enerji yatırımlarının özellikle 21. yüzyılın ilk çeyreğinde hız kazanması, bu alanda faaliyet gösteren şirketlerin finansal piyasalardaki önemini artırmıştır. Bu gelişme, yenilenebilir enerji firmalarının bireysel ve kurumsal yatırımcı portföylerinde daha fazla yer bulmasına yol açmıştır. Buna karşın, Türkiye'de yenilenebilir enerji sektörünü doğrudan temsil eden resmi bir borsa endeksinin bulunmaması, sektörel piyasa hareketlerinin izlenmesini ve uluslararası karşılaştırmaları sınırlamaktadır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu gidermek amacıyla PCA yöntemiyle oluşturulan Türkiye Yenilenebilir Enerji Endeksi'ni (YES) kullanarak, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasını küresel yenilenebilir enerji endeksleri literatürü bağlamında

incelemektedir. Bu yönüyle çalışma, hem literatüre sektörel düzeyde bir katkı sunmakta hem de yatırımcılar ve politika yapıcılar için yenilenebilir enerji piyasalarına ilişkin karşılaştırılabilir bir referans çerçevesi sağlamaktadır.

2. Literatür Taraması

Küreselleşme ile uluslararası entegrasyonun artışı (Alpar, 2019: 215) ve finansal serbestleşme ile sermayenin serbest dolaşımı yatırımcılar için çok geniş yatırım alternatifi sunmuştur. Farklı piyasalarda işlem yapabilmek serbestliği yatırımcılar ve araştırmacılar için piyasaların bağımlılığı, yayılmaların test edilmesi, eşbütünleşme, nedensellik, bulaşma gibi konuları ön plana çıkarmıştır. Bireysel ve kurumsal yatırımcılar borsalar ve sektörler arası entegrasyonu dikkate alarak çeşitlendirme olanağına kavuşmakta ve portföy riskini kontrol edebilmektedir. Türkiye'nin piyasa endeksleri (BİST100, BİST50 vb.) ve sektörel endeksleri (XUSIN, XUTRZM vb.) ile farklı ülkelerin piyasa ve sektörel endeksler arasındaki ilişkiyi araştıran birçok çalışma bulunmaktadır.

Borsa İstanbul endeksleri ile uluslararası borsa endeksleri arasındaki ilişki incelendiğinde; Ayaydın vd. (2020), 2000-2018 yılları arası BİST100 endeksi ile gelişmiş sermaye piyasaları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve S&P, Dow Jones, Nasdaq gibi gelişmiş sermaye piyasaları ile Borsa İstanbul arasında uzun dönemli eşbütünleşmenin varlığını belirlenmişlerdir. Farklı ülke borsaları ile BİST100 arasındaki eşbütünleşme ilişkisini araştıran Güneş (2024), ARDL sınır testi analizi sonrasında BİST100 ile S&P500 arasında uzun vadeli eşbütünleşme ilişkisi belirlemiş ve ilişkinin yönünün aynı doğrultuda olduğunu tespit etmiştir. Karahan (2023) BİST100 ile uluslararası endeksler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, BİST100'ün S&P ve Nasdaq ile uzun dönemli ilişki içinde olduğunu teyit etmiştir. NIFTY ile BİST100 arasındaki eşbütünleşme ilişkisini araştıran Nazlıoğlu ve Kök (2021), ABD ile Türkiye borsaları arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin varlığını tekrar teyit etmişlerdir. Diğer taraftan gelişmiş ve gelişmekte olan ülke grupları ile BİST100 arasındaki eşbütünleşme ilişkisini çok sayıda ülke grubu ile araştıran Güzel vd. (2019), gelişmekte olan ülkeler ile BİST100 arasında eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını, ancak eşbütünleşme ilişkisinin gelişmiş ülkeler arasında varlığını teyit etmiştir. Bulut ve Özdemir (2012), Dow Jones endeksi ile İMKB arasında uzun vadeli eşbütünleşme ilişkisinin varlığını belirlemiştir. Literatür çalışmalarından farklı olarak, ABD ile Türkiye piyasaları arasındaki eşbütünleşme ilişkisini araştıran Ertan (2009), İMKB ile Dow Jones endeksi arasındaki eşbütünleşme ilişkisini araştırmış ve herhangi bir eşbütünleşme ilişkisi belirlenememiştir. Eşbütünleşme ilişkisi bulunmayan İMKB ile Dow Jones arasında çeşitlendirme yapılabileceğini ifade etmiştir. Sektörel endeksler arası eşbütünleşme ilişkisini araştıran Gökmen ve Çömlekçi (2018), XTRZM endeksi ile ABD borsalarında yer alan turizm endeksleri (DJUSCG, DJUSTT, NQUSB5759 ve NQUSS5759) arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını belirlemiştir.

Nedensellik ilişkilerini araştıran literatür incelendiğinde; Ayaydın vd. (2020), Dow Jones ile BİST100 arasında çift yönlü ilişki belirlemiş ancak BİST100, S&P arasında nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Ancak Bulut ve Özdemir (2012), Dow Jones'ten BİST100 tek yönlü nedensellik olduğunu tespit etmiştir. Bu ilişki Ertan'ın (2009) sonuçlarını da desteklemektedir. Ulusoy (2019), S&P'den BİST100'e doğru tek yönlü nedenselliği destekleyen sonuçlarına ek olarak S&P/TSX'den BİST100'e doğru da tek yönlü nedenselliğin varlığını belirlemiştir. Bu bulgulardan farklı olarak, Yıldırım ve Kesebir (2019), S&P ile BİST100 arasında iki yönlü Granger nedensellik tespit etmiş ve bu ilişkiyi ticari ilişkilerin gücüne bağlamıştır. Kendirli vd. (2022) Nasdaq ile BİST100 arasında nedensellik ilişkisini araştırmışlar ve nedenselliğin varlığına ilişkin kanıt bulamamışlardır. NIFTY borsası özelinde literatür incelemesi yapıldığında Nazlıoğlu ve Kök (2021) çalışması ön plana çıkmaktadır. Nazlıoğlu ve Kök (2021), NIFTY'den BİST'e doğru tek yönlü nedensellik belirlemiş ve ABD borsalarında meydana gelen finansal gelişmelerin bulaşma yoluyla Türk borsasını da etkilediğini tespit etmiştir.

Yukarıdaki çalışmalar ABD piyasası ile Türkiye piyasası arasındaki etkileşim ve nedensel ilişkilerin varlığına ilişkin önemli kanıtlar sağlamaktadır. Ancak bu literatürün büyük ölçüde genel piyasa endekslerine odaklandığı ve yenilenebilir enerji gibi politika, belirsizlik ve arz şoklarına duyarlı sektörlerin kendine özgü dinamiklerini sınırlı ölçüde ele aldığı görülmektedir. Bu nedenle, piyasa entegrasyonunun sektörel düzeyde, özellikle yenilenebilir enerji gibi stratejik sektörler özelinde incelenmesi önem kazanmaktadır.

Genel piyasa entegrasyonunun ötesinde, oynaklık, volatilité taşması ve bulaşma kanallarını inceleyen çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. S&P500 ile BİST100 arasındaki şok ve oynaklık taşmalarını araştıran Özdemir ve Vurur (2019), varyans nedenselliği ve GARCH modellerini kullanmıştır.

Varyans nedensellik sonucunda endeksler arası çift yönlü nedenselliğin varlığını belirlemişlerdir. Getiri taşması incelendiğinde ise S&P500'den BİST100'e doğru tek yönlü taşma ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, ABD ile Türkiye piyasaları arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. Mutlu vd. (2023), Türkiye piyasası için 7 farklı ülke borsalarının volatilité etkileşimlerini araştırmış ve ABD'den Türkiye piyasalarına volatilité taşması olduğunu belirlemişlerdir. Türkiye'den diğer ülkelere ise aktarım gerçekleşmediğini tespit etmişlerdir. Elde edilen bulgular, büyük ülkelerden küçük ülkelere volatilité taşmasını raporlayan Choudhry (2004) ve ABD'den Türkiye'ye doğru tek yönlü volatilité taşmasını belgeleyen Gök ve Kalaycı (2015) sonuçlarını desteklemektedir. Yağcılar (2021), farklı endeksleri dahil ettiği çalışmanın analizi sonucunda, Türkiye'ye en yaygın volatilitenin ABD'den geldiğini belirlemiştir. Akarsu (2022) ise S&P500 endeksinden BİST Hizmetler endeksine volatilité yayılımını belirlerken, BİST Finansal endeksten S&P 500'e volatilité yayılımı belirlemiştir.

Son yıllarda literatür, genel piyasa endekslerinden ziyade yenilenebilir enerji endekslerine odaklanan çalışmalara doğru belirgin biçimde genişlemiştir. Yenilenebilir enerji piyasaları, geleneksel enerji piyasalarından farklı olarak iklim politikaları, jeopolitik gelişmeler, ESG faktörleri ve küresel belirsizlik göstergelerine yüksek duyarlılık sergilemektedir. Caporale vd. (2022), fosil yakıt ve yenilenebilir enerji hisse endeksleri arasındaki dinamik bağlantıyı analiz etmiş ve yenilenebilir enerji hisse senedi endekslerinin bağlantı açısından önemli bir rol oynadığını belirlemiştir. Çalışma ayrıca iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında uygulanan politikalarının yenilenebilir enerjiyi destekleyerek finansal entegrasyonun güçlenmesine katkı sunduğunu göstermektedir. Angelini vd. (2021), temiz enerji piyasası ile geleneksel enerji piyasası arasındaki bağımlılığı VAR yöntemi ile incelemiş ve temiz enerji sektöründeki gelişmelerin geleneksel enerji hisse fiyatlarını anlamlı biçimde etkilediğini ortaya koymuştur.

Yenilenebilir enerji endeksleri ile belirsizlik, ESG ve risk kanalları arasındaki ilişkiler literatürde ayrı bir araştırma hattı olarak gelişmiştir. Khoury vd. (2023) yenilenebilir enerji endeksleri ile ESG skorları, altın ve MSCI endeksleri arasındaki taşma dinamiklerini değerlendirmiş; ESG ve MSCI'nin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere verici, altın ve yenilenebilir enerjinin alıcı olduğunu tespit etmiştir. Rusya-Ukrayna savaşı öncesi ve sonrasında sonuçların aynı olduğu raporlanmıştır. Rahman vd. (2023), küresel belirsizlik göstergeleri ile yenilenebilir enerji piyasaları arasındaki bağlantıyı incelemiş ve belirsizlik göstergelerinin yenilenebilir enerji endeksleri üzerinde güçlü taşma etkilerine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Türkiye özelinde Irmak ve Şahin (2025), Borsa İstanbul'da PCA yöntemi ile oluşturulan YES endeksinin ulusal ve uluslararası risk ve belirsizlik göstergeleri ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler taşıdığını belirleyerek, yenilenebilir enerji piyasalarının küresel ve yerel risk faktörlerine duyarlı bir yapıda olduğunu vurgulamıştır.

Bu literatür, yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki ilişkilerin zaman içinde sabit olmadığını, politika müdahaleleri ve jeopolitik gelişmelerle birlikte dönemsel olarak değişebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Rusya-Ukrayna savaşı sonrası dönemde enerji arz güvenliği, Avrupa Birliği'nin REPowerEU programı ve ABD'de yürürlüğe giren Inflation Reduction Act (IRA) gibi politika paketleri, yenilenebilir enerji yatırımlarını ve piyasa beklentilerini doğrudan etkilemiştir. Bu tür politika ve enerji arz şoklarının, yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki uzun dönem ilişkilerde yapısal kırılmalara yol açması beklenmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki ilişkilerin kırılmalı zaman serisi yöntemleriyle incelenmesi literatürle tutarlı bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu bağlamda mevcut çalışma, Türkiye için PCA yöntemiyle oluşturulan YES endeksini, küresel yenilenebilir enerji endeksleri literatürü çerçevesinde ele almakta; genel piyasa endeksleri literatüründen ayrılarak yenilenebilir enerji piyasalarına özgü entegrasyon, nedensellik ve yapısal kırılma dinamiklerini incelemeyi amaçlamaktadır.

3. Metodoloji

3.1. Veri Seti

Türkiye Yenilenebilir Enerji Sektörel (YES) endeksi ile uluslararası yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için 02.01.2020-10.01.2025 tarihleri arası ABD'de işlem gören 5 farklı yenilenebilir enerji sektörel endeksi ve küresel yenilenebilir enerji sektörel endeksinin günlük verileri kullanılmıştır. Veriler investing.com web sitesinden elde edilmiş ve Eviews 12 paket programı ile analiz edilmiştir. Veriler, ilgili endeks kapanış fiyatlarından oluşmakta olup, Türkiye saati referans alınarak raporlanmıştır. Veri çekimi

20.01.2025 tarihinde manuel veri indirme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. YES değişkeni ile diğer alternatif enerji endeksleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için zaman serisi analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenler Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Değişkenler tablosu

Değişken Kodu	Yayıncı	Değişken Açıklaması	Kaynak
YES	Borsa İstanbul (BİST)	Türkiye Yenilenebilir Enerji Sektörel Endeksi (PCA yöntemi ile hesaplanmıştır)	investing.com web sitesinden 24 firmanın günlük kapanış verileri
MAC	New York Stock Exchange (NYSE)	The MAC Global Solar Energy Index (MAC Küresel Güneş Enerji Endeksi)	https://macsolarindex.com/
GWE	NASDAQ	The ISE Global Wind Energy Index (Küresel Rüzgâr Enerji Endeksi)	https://cleanedge.com/index/gwe/
RENIXX	Yayıncı: Renewable Energy Institute (IWR)	Renewable Energy Industrial Index (Küresel Yenilenebilir Enerji Endüstriyel Endeksi)	https://www.renewable-energy-industry.com/stocks
DWCAEG	Dow Jones	Dow Jones U.S. Alternative Energy Total Stock Market	https://www.investing.com/indices/dow-jones-u.s.-alternative-energy-t
GSPTXCT	S&P/TSX	S&P/TSX Renewable Energy and Clean Technology Index	https://tr.investing.com/indices/s-p-tsx-clean-technology
ERIX	Dow Jones	European Renewable Energy Total Return	https://www.investing.com/indices/european-renewable-energy-tr

Yenilenebilir enerji sektörüne yönelik analizlerde farklı coğrafyaları ve alt sektörleri temsil eden çeşitli endeksler yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada karşılaştırma ve etkileşim analizlerinde yer alan endeksler güneş enerjisi (MAC Global Solar Energy Index), rüzgar enerjisi (ISE Global Wind Energy Index), genel yenilenebilir enerji sanayiini temsil eden endeksler (Renewable Energy Industrial Index) ile alternatif ve temiz enerji temalı bölgesel endekslerden (Dow Jones U.S. Alternative Energy, S&P TSX Renewable Energy and Clean Technology, European Renewable Energy Index) oluşmaktadır. Bu endeksler, yenilenebilir enerji sektörünün küresel ölçekteki piyasa dinamiklerini yansıtan göstergeler niteliğinde literatürde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu endeksler küresel ve bölgesel ölçekte olup, Türkiye sermaye piyasalarını doğrudan temsil eden resmi bir endeks Borsa İstanbul bünyesinde bulunmamaktadır. Bu durum, Türkiye piyasaları için yenilenebilir enerji sektörüne ilişkin piyasa hareketlerinin doğrudan izlenmesini ve uluslararası endekslerle karşılaştırmalı analizlerin yapılmasını sınırlamaktadır. Bu çalışmada oluşturulan YES endeksi, çalışmada kullanılan diğer yenilenebilir enerji endekslerine benzer olarak Türkiye için referans işlevi görmesi, Türkiye’de faaliyet gösteren ilgili yenilenebilir enerji firmalarının piyasa dinamiklerini temsil etmesi ve bu sayede hem Türkiye piyasaları hem de küresel ve bölgesel yenilenebilir enerji sektörleri ile karşılaştırılabilirliğin sağlanmasına olanak sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulan YES endeksi, Borsa İstanbul’da işlem gören ve esas faaliyet konusu yenilenebilir enerji üretimi, yenilenebilir enerji teknolojileri ve alternatif enerji kaynaklarına dayalı faaliyetlerden oluşan firmaların ortak piyasa hareketini temsil etmeyi amaçlamaktadır. Endeks kapsamına alınan firmalar güneş, rüzgâr, biyokütle ve yenilenebilir enerji ekipmanları gibi alt sektörlerde faaliyet göstermekte olup, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasının farklı bileşenlerini yansıtmaktadır.

YES endeksinde temel kriter, firmanın ana faaliyet konusunun yenilenebilir veya alternatif enerji kaynakları olmasıdır. Bu yaklaşım, yalnızca elektrik üretimi yapan şirketleri değil, yenilenebilir enerji yatırımları, mühendislik, ekipman üretimi gibi yenilenebilir enerji alanının farklı faaliyet alanlarını da kapsayan firmalarda endekse dahil edilerek endeksin temsil kabiliyetinin artırılması amaçlanmıştır. Bu anlamda

endeksin sadece yenilenebilir enerji üretiminden daha ziyade yenilenebilir enerji ile ilgili ekosistemin bir bütün olarak piyasa göstergesi olarak tasarlanmıştır.

Endeks oluşturulurken firmalar piyasa değeri, eşit ağırlıklandırma gibi alternatif yaklaşımlar kullanılabilirdi. Ancak bu tür ağırlıklandırma yöntemleri, özellikle halka arz tarihleri farklı olan ve piyasa değerleri arasında farklılıklar bulunan firmalar söz konusu olduğunda, endeksin piyasa değeri büyük olan firmalar tarafından domine edilmesine neden olabilirdi. Bu sebeple çalışmada, firmaların ortak piyasa hareketini öne çıkaran PCA yöntemi ile endeks oluşturulmuştur.

Bu çerçevede YES endeksi, firmaların bireysel oynaklıklarından ziyade bir bütün olarak tüm firmaların piyasa hareketi ile temsil edildiği bir gösterge niteliğindedir. İlk temel bileşenin toplam varyansın önemli bir bölümünü açıklaması ortak faktörden oluşan tek bir endeksin oluşturulmasını istatistiksel olarak mümkün hale getirmiştir. Bu özellikleriyle YES endeksi, Türkiye’de yenilenebilir enerji sektörüne yönelik resmi bir endeksin bulunmadığı ortamda, sektörel piyasa hareketlerini izlemek ve ampirik çalışmalarda referans bir endeks olarak kullanılabilecek alternatif bir ölçüt ileri sürmektedir.

3.2. Yöntem ve Ampirik Sonuçlar

Bu çalışmada YES endeksi, Borsa İstanbul’da esas faaliyet konusu yenilenebilir enerji ve alternatif enerji kaynağı olan 24 firmanın günlük kapanış fiyatlarından oluşan panel veri kullanılarak Temel Bileşenler Analizi (PCA) yöntemi ile oluşturulmuştur. YES endeksi oluşturmak için endeks kapsamında hesaplama dahil edilen firmalara ilişkin bilgiler Tablo 2’de verilmiştir. Karaer ve Tatlıdil’e (2019) göre, fazla sayıda değişkenle yapılan regresyonlar çoklu bağıntı sorununa yol açtığı için PCA yöntemi geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji alanında faaliyet gösteren 24 firmanın borsa performanslarından YES endeks değeri oluşturabilmek için Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Barlett test sonuçları önemlidir. Field’e (2000) göre, KMO değerinin 0,50’nin üzerinde olması durumunda seçilen değişkenler tek bir değişkende faktörlenebilmektedir. Barlett değerinin de en azından %5 düzeyinde anlamlı olması gerekmektedir (Field, 2000: 58). KMO ve Barlett testi için bu iki varsayımın sağlanması durumunda 24 firmanın borsa performansı tek bir değişkenle ifade edilebilmektedir.

Tablo 2. Endekse Dahil Edilen Firmalar

Firma Kodu	Firma Adı	Sektör	Halka Arz Tarihi
GESAN	Girişim Elektrik Sanayi Taahhüt ve Ticaret A.Ş.	BİST HİZMETLER	20.08.2021
AKENR	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	BİST ELEKTRİK	28.06.2000
AKFYE	Akfen Yenilenebilir Enerji A.Ş.	BİST ELEKTRİK	17.03.2023
AKSEN	Aksa Enerji Üretim A.Ş.	BİST ELEKTRİK	21.05.2010
AKSUE	Aksu Enerji ve Ticaret A.Ş.	BİST ELEKTRİK	23.12.1999
ALFAS	Alfa Solar Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.	BİST ELEKTRİK	17.11.2022
AYDEM	Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş.	BİST ELEKTRİK	30.04.2021
AYEN	Ayen Enerji A.Ş.	BİST ELEKTRİK	26.12.2014
BIOEN	Biotrend Çevre ve Enerji Yatırımları A.Ş.	BİST ELEKTRİK	29.04.2021
CONSE	Consus Enerji İşletmeciliği ve Hizmetleri A.Ş.	BİST ELEKTRİK	21.04.2022
CWENE	CW Enerji Mühendislik Ticaret ve Sanayi A.Ş.	BİST ELEKTRİK	8.05.2023
SAYAS	Say Yenilenebilir Enerji Ekipmanları San. ve Tic. A.Ş.	BİST MET MAK.	24.06.2013
ENJSA	Enerjisa Enerji A.Ş.	BİST ELEKTRİK	8.02.2018
ESEN	Esenboğa Elektrik Üretim A.Ş.	BİST ELEKTRİK	12.10.2020
GWIND	Galata Wind Enerji A.Ş.	BİST ELEKTRİK	26.04.2021
HUNER	Hun Yenilenebilir Enerji Üretim A.Ş.	BİST ELEKTRİK	22.02.2022
A1YEN	A1 Yenilenebilir Enerji Üretim A.Ş.	BİST ELEKTRİK	19.07.2021
KONTR	Kontrolmatik Teknoloji Enerji ve Mühendislik A.Ş.	BİST HİZMETLER	20.10.2020
MAGEN	Margün Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	BİST ELEKTRİK	1.10.2021
NATEN	Naturel Yenilenebilir Enerji Ticaret A.Ş.	BİST ELEKTRİK	8.08.2019
PAMEL	Pamel Yenilenebilir Elektrik Üretim A.Ş.	BİST ELEKTRİK	13.06.2014
SMRTG	Smart Güneş Enrj. Tekn. Arş. Gel. Ür. San. Ve Tic A.Ş.	BİST HİZMETLER	25.03.2022

TATEN Tatlıpınar Enerji Üretim A.Ş.
ZEDUR Zedur Enerji Elektrik Üretim A.Ş.

BİST ELEKTRİK 18.08.2023
BİST ELEKTRİK 5.11.2010

Panel veri setinde, bazı firmalar çalışma döneminin farklı tarihlerinde borsaya kote oldukları için eksik gözlemler bulunduğundan analiz birkaç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada fiyat serileri günlük logaritmik getiriler formuna dönüştürülmüştür.

$$R_{i,t} = \ln(P_{i,t}) - \ln(P_{i,t-1}) \quad (1)$$

PCA ölçek duyarlı bir yöntem olduğundan getiriler firma bazında ortalamadan arındırılmış ve standart sapmaya bölünerek z-skoru standardizasyonuna tabi tutulmuştur.

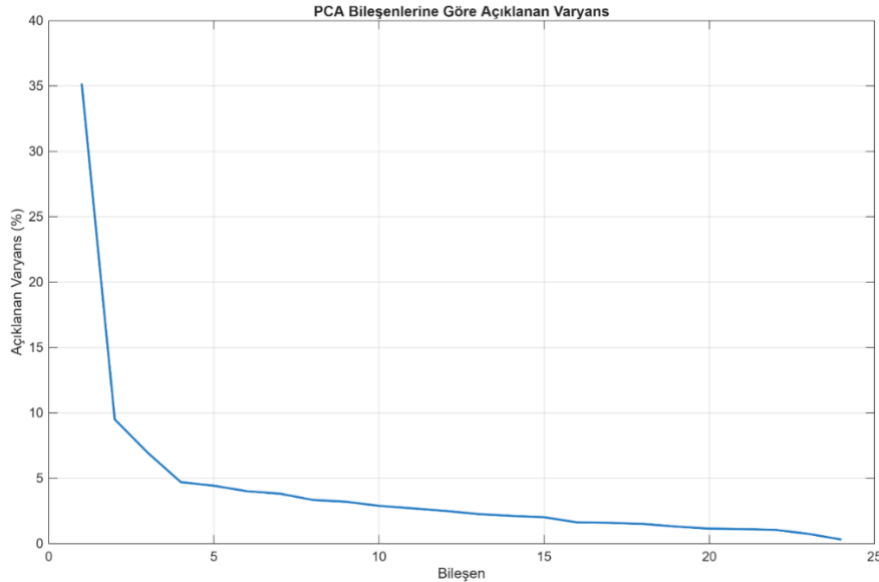
$$Z_{i,t} = \frac{R_{i,t} - \mu_i}{\sigma_i} \quad (2)$$

Standardize edilmiş getirilerdeki aşırı uç değerlerin PCA sonuçlarını bozmasını önlemek amacıyla ± 3 standart sapma sınırında Winsorize uygulanmıştır.

$$\begin{cases} -3, & Z_{i,t} < -3, \\ Z_{i,t}, & -3 \leq Z_{i,t} \leq 3, \\ 3, & Z_{i,t} > 3. \end{cases} \quad (3)$$

Eksik gözlemler analize dahil edilmemiş, yapay veri üretmemek adına enterplasyon gibi veri üretme tekniklerine başvurulmamıştır. Bunun yerine Bai ve Ng (2019) tarafından önerilen şekilde PCA yalnızca tüm firmaların eş zamanlı veri sağladığı tam dolu alt dönemde uygulanmıştır. Böylece faktör yüklerinin eksik gözlem heterojenliğinden etkilenmesi engellenmiştir. PCA için rotasyon uygulaması yapılmamıştır (unrotated PCA). Ekonometrik analizlerde rotasyonun ilk bileşenin varyansı maksimum açıklama özelliğini bozmaktadır (Stock ve Watson, 2002; Bai ve Ng, 2002; Jolliffe, 2002). Bu nedenle çalışmada, ilk temel bileşen olan PC1, yenilenebilir enerji sektörünün ortak faktörünü temsil eden ana bileşen olarak ele alınmıştır.

PCA sonuçlarına ilişkin açıklanan varyans Şekil 1’de sunulmuştur. Zhu ve Ghodsi (2006), dirsek öncesi ortaya çıkan bileşenlerin temel bileşen olduğunu ve dirsek sonrası bileşenlerin gürültü olarak kabul edildiği ve modele dahil edilmemesi gerektiğini belirtmiştir. PCA analizi sonuçlarında, birinci bileşenden ikinci bileşene geçişte dirsek oluşumunun bulunduğu ve 24 firmanın borsa performanslarının birinci temel bileşenle temsil edilmesinin doğru bir yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 1. PCA bileşenlerine göre açıklanan varyans oranları (Scree plot)

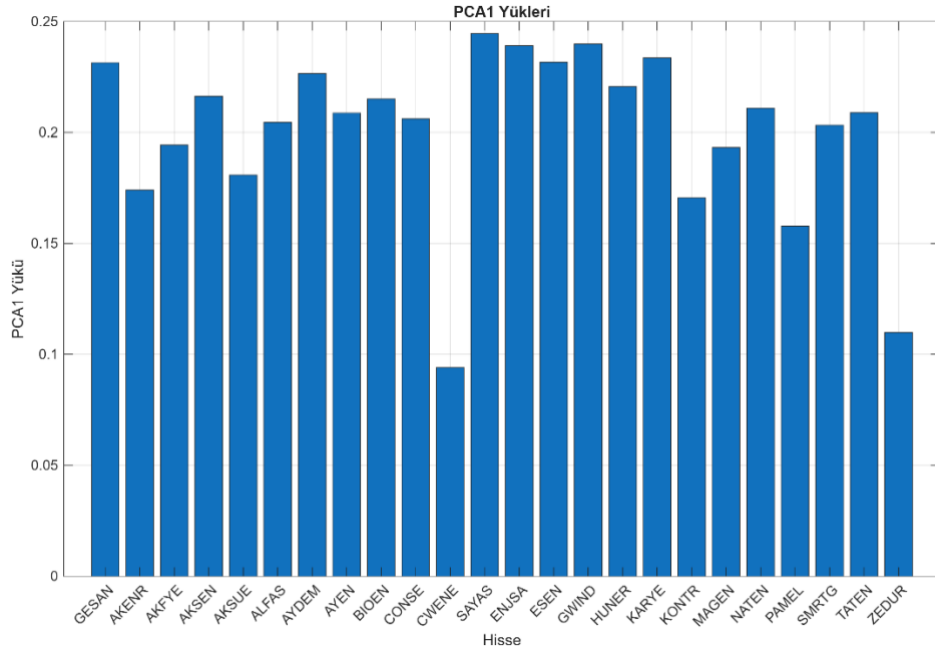
Not: Yatay eksen temel bileşen numarasını, dikey eksen her bir temel bileşenin açıkladığı varyans oranını (%) göstermektedir. Grafik, standartlaştırılmış günlük getiri serileri kullanılarak elde edilen PCA sonuçlarına dayanmaktadır.

Tablo 2’de PCA’ya ilişkin özdeğerler ve açıklanan varyans oranları verilmiştir. Birinci bileşenin özdeğeri 6.08 olup toplam varyansın %35.19’unu açıklayarak diğer faktörlere göre çok baskın bir faktör niteliğindedir. İkinci (%9.50) ve üçüncü bileşenler (%6.95) Kaiser kriterine göre 1’in üzerinde özdeğer ile anlamlı kabul edilmektedir. Ancak üçüncü bileşenden sonra özdeğerler 1’in altına düştüğü görülmüştür. 1’in altı özdeğerler gürültü kabul edilir ve modele anlamlı katkı sağlamamaktadır. Şekil 1’de görüldüğü üzere, birinci bileşenden ikinci bileşene geçişte belirgin kırılma oluşmakta ve Zhu ve Ghodsi (2006) önerilerine uygun olarak endeks hesaplamada endeksin tek faktörlü yapısı dikkate alınarak yalnızca birinci bileşen kullanılmış ve ilk 5 bileşene ilişkin varyans ve özdeğer verileri şeffaflık sağlamak amacıyla Tablo 3’te raporlanmıştır.

Tablo 3. Özdeğer ve açıklanan değerler tablosu

PC	Varyans	Özdeğer
1	35.190	6.0793
2	9.5003	1.6413
3	6.9468	1.2002
4	4.7010	0.8122
5	4.4258	0.7646

Tüm firmalara ilişkin verilerin tam olduğu döneme ait temel bileşen yükleri, PCA’nın veri içeriğindeki ortak faktörü hangi firmaların hangi ağırlıklarla temsil ettiğini gösteren alt dönem PCA yükleri Şekil 2’de verilmiştir. Yüklerin büyüklüğü ve işareti, ilgili firmaların endekse katkısını ve endeksin hangi firmaların fiyat dinamiklerinden daha fazla etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 2. Birinci temel bileşene (PC1) ait firma bazlı faktör yükleri

Not: Yatay eksen endeks kapsamındaki firmaları, dikey eksen ise PCA analizi sonucunda elde edilen birinci temel bileşene ait faktör yüklerini göstermektedir. Faktör yükleri, PCA’nın tüm firmalara ilişkin verilerin eksiksiz olduğu tam dolu alt dönemde uygulanmasıyla elde edilmiştir. Yüklerin büyüklüğü, ilgili firmaların yenilenebilir enerji sektörüne özgü ortak faktöre olan göreceli katkısını yansıtmaktadır.

Günlük YES endeksi, ilgili gün içi veri bulunan firmaların PC1 yükleri ile standartlaştırılmış getirilerinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

$$I_t = \frac{1}{N_t} \sum_{i \in \Omega_t} \omega_i Z_{i,t}^* \quad (4)$$

Burada Ω_t , t gününde veri bulunan firmalar kümesini, N_t ise firma sayısını göstermektedir.

PCA analizi, tüm firmaların gözlemlerinin eksiksiz olduğu tam dolu olan alt dönemde uygulanmış ve bu alt dönemden elde edilen birinci temel bileşen faktör yükü (ω_i), yenilenebilir enerji sektörüne özgü ortak faktörün firma bazında katkı ağırlıklarını temsil edecek şekilde sabit katsayılar olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, Bai ve Ng (2019) tarafından önerildiği şekilde, faktör yapısının eksik gözlemden kaynaklı olarak heterojenlikten etkilenmemesi için yapılmıştır. Alt dönemde elde edilen bu sabit faktör yükleri kullanılarak tüm örneklem dönemi için YES endeksi hesaplanmıştır. Ancak firmaların borsaya kote olup işlem görmeye başlama tarihleri farklı olduğundan, her gün endeks hesaplamasında yer alan firma sayısı (N_t) zaman içinde değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, endeks her bir gün için o gün için veri bulunan firma kümesi (Ω_t) dikkate alınarak oluşturulmuştur. Günlük endeks hesaplamasında sabit PCA yükleri veri bulunan firmalar üzerinden yeniden ölçeklendirilmiş ve eksik gözlem olan firmaların endeksi etkilemesi engellenmiştir. Bu çerçevede, Denklem 4, her gün için geçerli olan firmalar üzerinden normalize edilmiş ağırlıklı ortalamayı temsil etmektedir.

Çalışmada PCA analizi sonucunda elde edilen birinci bileşen, endeks niteliği taşıyacak şekilde yeniden ölçeklendirilmiştir. Endeksin zaman içindeki seyrinin daha açık biçimde izlenebilmesi ve finansal endeks geleneğiyle uyumlu bir temel oluşturulması amacıyla, örneklem döneminin ilk gözlemi olan 02.01.2020 tarihi baz alınmış ve endeks bu tarihte 100 olacak şekilde tanımlanmıştır. Böylece oluşturulan YES endeksi, başlangıç noktasına göre göreceli artış ve azalışları doğrudan yansıtmakta; dönemler arası karşılaştırmaların daha tutarlı ve yorumlanabilir bir çerçevede yapılmasına imkân vermektedir.

PC1 değişkeninden elde edilen YES endeksinin temel bileşen varsayımını karşıladığını belirlemek için yapılan KMO ve Barlett test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. KMO test sonucunun 0,50'nin üzerinde ve Barlett test sonucunun istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. Temel bileşenler analizi varsayımları

Bartlett test of sphericity	
Chi-square	83599.284
p değeri	0.000
Kaiser-Meyer-Olkin Measure	
KMO	0.923

Aşağıda yer alan Şekil 3, değişkenlerin doğal logaritmik formunda değerlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde RENIXX, MAC ve GWE endeks değerlerinin birlikte hareket ettiği gözlemlenmektedir. Diğer taraftan GSPTXCT, ERIX ve DWCAEG değişkenlerinin ise birbirine yakın trendde oldukları görülmektedir. YES değişkeninin grafiksel inceleme temelinde trend bir seri özelliği gösterebileceği, diğer serilerin ise daha çok sabit terimli bir yapıya yakın olduğu değerlendirilmiştir. Birim kök testi gerçekleştirilirken bu durum dikkate alınmıştır.



Şekil 3. Değişkenlerin doğal logaritmik grafikleri

Zaman serisi analizleri öncesi tanımlayıcı istatistikler, değişkenlerin genel olarak dağılımını göstermektedir. Serilerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 5'te yer almaktadır. Değişkenlerin belirgin düzeyde aşırı uç değer barındırmadığı tespit edilmiştir. Çarpıklık ve basıklık değerleri serilerin normal dağılımı için ön bilgi sağlamaktadır. West vd. (1995), çarpıklık değerinin 2'nin altında ve basıklık değerinin 7'nin altında olması gerektiğini belirtmiştir. Tüm serilerde çarpıklık ve basıklık değerlerinin kabul edilebilir sınırların altında olduğu ve olasılık değerinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Tanımlayıcı istatistikler

Değişken	YES	DWCAEG	GSPTXCT	ERIX	MAC	GWE	RENIXX
Ortalama	2.1536	2.3684	2.2042	3.3072	2.4560	2.3362	3.0803
Ortanca	2.1413	2.4149	2.2105	3.3384	2.5145	2.3345	3.1096
Maksimum	2.3303	2.7590	2.4997	3.5124	2.7686	2.5079	3.3132
Minimum	1.9116	1.7600	2.0020	3.0603	2.0294	2.1004	2.7694
Standart Sapma	0.0898	0.1738	0.1243	0.0961	0.1583	0.0675	0.1065
Çarpıklık	-0.1183	-1.2531	0.1633	-0.5926	-0.3628	-0.1972	-0.2899
Bazıklık	2.4098	4.7013	1.9845	2.4813	2.1393	2.0438	2.2797
JarqueBera	21.1901	480.5593	59.5992	87.6692	66.3660	20.0793	44.7837
Olasılık	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001
Gözlem	1257	1257	1257	1257	1257	1257	1257

Seriler arası korelasyon ilişkisini gösteren Tablo 6'ya göre, seriler arasında yüksek korelasyon ilişkisi barındıran ve modelde çoklu bağıntı problemine neden olacak bir ilişki belirlenmemiştir.

Tablo 6. Korelasyon ilişkisi tablosu

	YES	DWCAEG	GSPTXCT	ERIX	MAC	GWE	RENIXX
YES	1.0000						
DWCAEG	0.5523	1.0000					
GSPTXCT	-0.4728	0.1463	1.0000				
ERIX	0.1977	0.5507	0.6965	1.0000			
MAC	0.5273	0.2234	-0.0065	0.5115	1.0000		
GWE	0.5061	-0.0596	-0.2429	0.1983	0.7612	1.0000	
RENIXX	0.4527	0.1551	0.0157	0.4960	0.7828	0.6409	1.0000

YES endeksi ile farklı borsalarda yer alan yenilenebilir enerji sektörel endeksler arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan zaman serisi analizi temelde beş adımda gerçekleştirilmiştir. İlk olarak serilerin durağanlığının sınaması için Augment Dickey Fuller (ADF) ve Philips Perron (PP) testleri yapılmıştır. İkinci adımda, model için gecikme uzunluğu tespit edilmiştir. Bir sonraki adımda uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisini belirlemek için Gregory-Hansen eşbütünleşme yöntemi kullanılmıştır. Dördüncü aşamada, model dengeden sapmaları ve uzun ve kısa dönem ilişkileri VAR modeli ile tespit etmek için Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) yöntemi ile analiz edilmiştir. Son aşamada ise sektörel endeksler arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemek için Granger nedensellik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Ekonometrik analizleri gerçekleştirebilmek için bazı varsayımların geçerliliği test edilmelidir. Bunlardan ilki durağanlık analizidir. Yani seriler arasında durağanlığın varlığı araştırılmalıdır. Standart birim kök testlerinin gerçekleştirildiği çalışmada, zaman serilerinin ortalama ve varyans değerlerinin zamanla değişkenlik gösterme durumları analiz edilmektedir. Eğer sistematik olarak ortalama ve varyansta bir değişiklik yoksa seri durağandır. Aksi takdirde durağanlıktan söz edilemez ve fark alma işlemi uygulanır. Böylesi bir durumda elde edilen regresyon, sahte regresyona yol açmaktadır (Gujarati, 1995: 34). Özellikle eşbütünleşme ilişkisi için serilerin durağanlık seviyelerinin belirlenmesi önemlidir. Çalışmada geleneksel birim kök testlerinden ADF ve PP test istatistikleri kullanılmıştır. Geleneksel birim kök test sonuçları Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 5. Geleneksel birim kök testi sonuçları

DEĞİŞKENLER	AUGMENT DİCKEY FULLER (ADF)				PHİLİPS PERRON (PP)			
	Düzeyde		Birinci Farkta		Düzeyde		Birinci Farkta	
	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli
YES	-0.1769	-1.5475	-36.8590***	-32.0646***	-0.4922	-1.4001	-36.9616***	-33.1948***
MAC	-1.5158	-2.0080	-32.2386***	-32.3515***	-1.5165	-1.9874	-32.3510***	-32.4346***
GWE	-1.7985	-2.0624	-31.5708***	-31.5963***	-1.8176	-2.0749	-31.6352***	-31.6361***
RENIXX	-1.4054	-1.7594	-22.3896***	-22.4789***	-1.5431	-1.8427	-33.9324***	-33.9667***
ERIX	-2.4764	-1.5290	-17.2043***	-17.2273***	-2.9454	-2.8431	-45.1274***	-55.6987***
GSPTXCT	-1.9034	-1.2639	-18.2175***	-18.2180***	-1.9518	-1.9916	-46.0138***	-47.2304***
DWCAEG	-2.4511	-2.7356	-18.9345***	-18.9347***	-2.5693	-1.2963	-36.4046***	-36.6187***
Test Critical Values								
%1 critical value	-3.4353	-3.9654	-3.4353	-3.9654	-3.4353	-3.9653	-3.4353	-3.9653
%5 critical value	-2.8636	-3.4134	-2.8636	-3.4134	-2.8636	-3.4133	-2.8636	-3.4133
%10 critical value	-2.5687	-3.1287	-2.5687	-3.1287	-2.5679	-3.1287	-2.5679	-3.1287

Geleneksel birim kök testleri olan ADF ve PP yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonrasında logaritmik serilerde birim kök varlığı tespit edilmiştir. Serilerin birinci farkı alındığında tüm serilerin durağanlaştığı ve serilerin I(1) olduğu tespit edilmiştir. Ancak geleneksel ADF ve PP testleri, serilerin yapısında olabilecek ani kırılmaları içselleştirme gücüne sahip değildir. Meydana gelen politika değişiklikleri, ekonomik şoklar ve krizler gibi kırılmalar standart birim kök testlerinde durağanlık teşhislerinde sapmalara yol açabilmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji piyasalarında son dönemde uygulamaya konulan IRA ve REPowerEU gibi kapsamlı politika paketlerinin, yatırım teşvikleri ve beklenti kanalları üzerinden fiyatlama davranışlarında rejim değişiklikleri yaratabileceği değerlendirilmektedir. Bu tür politika kaynaklı yapısal değişimlerin göz ardı edilmesi, serilerin durağanlık özelliklerinin hatalı biçimde değerlendirilmesine neden olabileceğinden, çalışmada Zivot–Andrews (1992) yapısal kırılmalı birim kök testi uygulanmıştır.

Tablo 8. Zivot-Andrews Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi

Degiskenler	Düzey		Birinci Fark	
	t istatistik	Kırılma Tarihi	t istatistik	Kırılma Tarihi
YES	-3.7653	23.11.2022	-32.4206	12.12.2022
DWCAEG	-3.7500	10.05.2021	-36.2975	26.01.2021
GSPTXCT	-4.4460	12.05.2021	-36.9545	8.02.2021
ERIX	-4.0273	7.01.2021	-34.5522	7.01.2021
MAC	-3.8896	7.03.2024	-32.6791	4.01.2024
GWE	-3.7222	24.11.2023	-31.9530	3.01.2024
RENIXX	-3.5500	13.03.2024	-34.3219	3.01.2024
Kritik Değerler				
%1	-5.570			
%5	-5.080			
%10	-4.820			

Geleneksel ADF ve PP testleri sonucunda serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdiği ve birinci farkları alındığında durağanlaştığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, yapısal kırılmayı dikkate alan Zivot–Andrews birim kök testi sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Zivot–Andrews testinde elde edilen t-istatistiklerin, ilgili kritik değerlerden mutlak değer olarak daha küçük olması nedeniyle, serilerin düzeyde durağan olduğu yönündeki sıfır hipotezi reddedilememiştir. Dolayısıyla, yapısal kırılma varlığı altında dahi tüm değişkenlerin düzeyde birim kök içerdiği ve I(1) seviyede bütünsel olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İzleyen analizler, serilerin I(1) olduğu varsayımı altında sürdürülmüştür.

Seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığı, ekonomik ve finansal süreçlerde ortaya çıkabilecek rejim değişikliklerinden etkilenebilmektedir. Geleneksel Engle-Granger veya Johansen yöntemleri, bu tür kırılmaları dikkate almadığından eşbütünleşme ilişkisinin yanlış biçimde değerlendirilmesi mümkündür. Gregory-Hansen (1996) tarafından geliştirilen yapısal kırılmalı eşbütünleşme testi, eşbütünleşme denkleminde tek bir yapısal kırılmanın varlığına izin vermekte ve kırılma tarihini belirlemektedir.

Test üç alternatif model üzerinden uzun dönemli ilişkiyi analiz etmektedir. Bunlar (Gregory ve Hansen, 1996):

Model C

$$y_t = \mu_1 + \mu_2 D_{t(\tau)} + \beta_{xt} + u_t \quad (5)$$

Model C/T

$$y_t = \mu_1 + \mu_2 D_{t(\tau)} + \gamma_t + \beta_{xt} + u_t \quad (6)$$

Model C/S

$$y_t = \mu_1 + \mu_2 D_{t(\tau)} + \beta_{1xt} + \beta_{2xt} D_{t(\tau)} + u_t \quad (7)$$

Burada $D_{t(\tau)} = 1$ kırılma tarihinden sonra, aksi halde 0 olan kukla değişkendir. Test her olası kırılma noktası için test istatistiklerini hesaplar ve en negatif değeri karar istatistiği olarak seçer. Test istatistikleri kritik değerlerden daha negatif olması durumunda tek yapısal kırılma altında eşbütünleşme ilişkisinin varlığı kabul edilir.

Gregory-Hansen (1996) eşbütünleşme testi, her bir değişken çifti için sabitte (C), sabit ve trendde (C/T) ve sabit ve eğimde (C/S) yapısal kırılmaya izin veren üç farklı regresyon modeli altında uygulanmış ve her bir model için ADF, Zt ve Za test istatistikleri hesaplanmıştır. Test kapsamında genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) tipi test istatistiği, Philips (Zt) tipi t-istatistiği ve normalize edilmiş kümülatif sapma istatistiği (Za) analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 9’da raporlanmıştır. Her bir model ve istatistik asimptotik kritik değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Tablo 9. Gregory-Hansen Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Testi

Bağımlı Değişken		YES	t istatistik			Asymptotik Kritik Değerler			N
Degisken	Model	Kırılma Tarihi	ADF	Zt	Za	ADF	Zt	Za	
DWCAEG	C	09.09.2022	-7.0875	-5.0717	-13.7986	-4.61	-4.61	-40.48	1257
	C/T	09.09.2022	-7.2075	-5.0747	-15.5622	-4.99	-4.99	-47.96	1257
	C/S	22.07.2022	-7.8106	-5.1026	-24.7757	-4.95	-4.95	-47.04	1257
GSPTXCT	C	09.09.2022	-11.6676	-9.0890	-22.4990	-4.61	-4.61	-40.48	1257
	C/T	29.09.2022	-11.7764	-9.0993	-23.5819	-4.99	-4.99	-47.96	1257
	C/S	29.09.2022	-11.6662	-9.0967	-23.8602	-4.95	-4.95	-47.04	1257
ERIX	C	09.09.2022	-15.7660	-8.1090	-35.1326	-4.61	-4.61	-40.48	1257
	C/T	09.09.2022	-15.6304	-8.1048	-32.6812	-4.99	-4.99	-47.96	1257
	C/S	09.09.2022	-15.7414	-8.1080	-34.3467	-4.95	-4.95	-47.04	1257
MAC	C	07.09.2022	-5.0871	-3.0653	-14.6434	-4.61	-4.61	-40.48	1257
	C/T	07.09.2022	-5.0269	-3.0635	-13.7535	-4.99	-4.99	-47.96	1257
	C/S	07.09.2022	-5.1626	-3.0676	-15.2488	-4.95	-4.95	-47.04	1257
GWE	C	27.10.2020	-4.6371	-4.0521	-9.5030	-4.61	-4.61	-40.48	1257
	C/T	27.10.2020	-4.8834	-4.0553	-10.6823	-4.99	-4.99	-47.96	1257
	C/S	29.11.2023	-4.4591	-4.0480	-8.1495	-4.95	-4.95	-47.04	1257
RENIXX	C	07.09.2022	-6.0486	-4.0646	-14.2021	-4.61	-4.61	-40.48	1257
	C/T	07.09.2022	-6.9983	-4.0629	-13.3258	-4.99	-4.99	-47.96	1257
	C/S	07.09.2022	-6.0701	-4.0653	-14.2749	-4.95	-4.95	-47.04	1257

Tablo 9’da sunulan logaritmik serilere ait Gregory-Hansen yapısal kırılmalı eşbütünleşme test sonuçları, her bir model için hesaplanan ADF ve Zt test istatistiklerinin ilgili asimptotik kritik değerlerden daha negatif olduğu, Za istatistiğinin ise bazı modellerde kritik değerlere yakınsadığı görülmektedir. Bu çerçevede,

eşbütünleşme yoktur yönündeki sıfır hipotezinin genel olarak reddedildiği ve yapısal kırılma altında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığına ilişkin güçlü kanıtlar elde edildiği söylenebilir. Bu bulgu, bağımlı değişken olan YES ile analize dâhil edilen tüm endeksler arasında yapısal kırılma altında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğu işaret etmektedir. Elde edilen bulgular, Borsa İstanbul ile S&P, Dow Jones, Nasdaq gibi gelişmiş sermaye piyasaları arasında eşbütünleşme ilişkisini belirleyen Bulut ve Özdemir (2012), Ayaydın vd. (2020) ve Karahan'ın (2023) bulgularını desteklemektedir. Diğer taraftan Ertan (2009) ve Güzel vd. (2019) ABD ile Türkiye borsaları arasında eşbütünleşme ilişkisini belirleyememişlerdir. Elde edilen sonuçlar, Ertan (2009) ve Güzel vd.'nin (2019) sonuçlarından farklılaşmaktadır. Gregory-Hansen eşbütünleşme sonuçları, Türkiye ile ABD borsalarında yer alan yenilenebilir enerji sektörel endekslerinin uzun dönemde birbirleriyle eşbütünleşik olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuç, bu endeksler ile oluşturulan sepetin uzun dönemli çeşitlendirme imkânını sınırlayabileceğine işaret etmektedir.

Zivot-Andrews ve Gregory-Hansen testleri kapsamında tespit edilen yapısal kırılma tarihlerinin önemli bir kısmının 2021-2023 döneminde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu dönem, küresel enerji piyasalarında arz güvenliği endişelerinin arttığı, fosil yakıt fiyatlarında yüksek oynaklığın gözlemlendiği ve yenilenebilir enerji yatırımlarını doğrudan etkileyen politika müdahalelerinin hız kazandığı bir zaman aralığına karşılık gelmektedir. Özellikle 2022 yılı çevresinde gözlenen kırılmalar, Rusya-Ukrayna savaşı sonrasında enerji arz zincirlerinde yaşanan bozulmalar, Avrupa Birliği'nin REPowerEU programını uygulamaya koyması ve ABD'de Inflation Reduction Act (IRA) kapsamında yenilenebilir enerjiye yönelik güçlü teşviklerin devreye alınması ile zamansal olarak örtüşmektedir. Bu gelişmelerin, yenilenebilir enerji şirketlerinin maliyet yapıları, yatırım beklentileri ve fiyatlama davranışları üzerinde ani ve kalıcı etkiler yaratmış olabileceği değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, tespit edilen yapısal kırılmaların söz konusu küresel enerji ve politika şoklarıyla ilişkili olabileceğine dair temkinli bir ekonomik yorum yapılması mümkündür.

Uzun dönem denge ilişkisi Gregory-Hansen eşbütünleşme testi ile belirlenen modelde uzun dönem dengeden sapmaları belirlemek ve kısa dönem ilişkileri tespit etmek için Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) analizi yapılmıştır. Engle ve Granger (1987), değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin varlığı durumunda, kısa dönemde meydana gelen dengesizlikleri tolere edecek hata düzeltme katsayısını önermiştir. Hata düzeltme katsayısı, değişkenler arasında kısa dönemde meydana gelen dengesizliklerin hangi oranda düzeldiğini belirlemektedir (Enders, 1995). Çelik ve Bozkuş Kahyaoğlu'na (2021) göre, eşbütünleşme olması durumunda kısa dönemli ilişkiler VAR modeli ile tahminlenirken eşbütünleşmenin tespit edilmesi durumunda VECM yöntemi kullanılmalıdır. Yapılan VECM analizi sonucunda hata düzeltme katsayısını negatif ve anlamlı olması beklenmektedir (Arı ve Yıldız, 2017). Negatif ve anlamlı hata düzeltme katsayısı, kısa dönemde yaşanan dengesizliklerin uzun dönemde giderildiğinin göstergesidir (Aykırı ve Bulut, 2018). Bekmez ve Özpolat (2013), VECM modelini şu denklemle ifade etmiştir:

$$\Delta X_t = \delta + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_j \Delta X_{t-j} + \mu ECT_{t-1} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Formül 9'da Δ fark operatörünü, k gecikme sayısını, ECT_{t-1} hata düzeltmeyi ve μ ise dengesizliklerin tekrar dengelenme hızını göstermektedir.

Tablo 10, VECM sonuçlarını göstermektedir. Üç ayrı panelden oluşan Tablo 10'da ilk panelde uzun dönem eşbütünleşme sonuçları, ikinci panel kısa dönemli dengesizliklerin zaman boyunca ne kadarının denge noktasına ulaştığını gösteren HDK ve üçüncü panel kısa dönem VECM sonuçlarını sunmaktadır.

Tablo 10. VECM sonuçları

Uzun Dönem VECM Sonuçları							
	YES	MAC	GWE	RENIXX	ERIX	GSPTXCT	DWCAEG
Coint. Equation	1	2.785880*** (0.59359)	-2.434518*** (0.49892)	-2.453781*** (0.74041)	-1.382169*** (0.36698)	0.885305*** (0.21608)	-0.376522*** (0.12378)
C	7.761453						
	YES	MAC	GWE	RENIXX	ERIX	GSPTXCT	DWCAEG
HDK	-0.009458** (0.00302)	-0.008119** (0.00403)	-0.005104** (0.00211)	0.001257 (0.00259)	-0.009561*** (0.00321)	-0.007428** (0.00259)	-0.022197*** (0.00567)

Kısa Dönem VECM Sonuçları

	ΔYES	ΔMAC	ΔGWE	$\Delta RENIXX$	$\Delta ERIX$	$\Delta GSPTXCT$	$\Delta DWCAEG$
$\Delta YES(-1)$		-0.028496 (0.07423)	0.028416* (0.02885)	0.044354* (0.02469)	-0.003573 (0.05904)	0.035629 (0.04775)	-0.008701 (0.10446)
$\Delta YES(-2)$		0.027251 (0.07416)	-0.025912 (0.03881)	-0.003956 (0.04764)	0.051310 (0.05899)	0.056843* (0.04771)	0.082856 (0.10437)
$\Delta MAC(-1)$	0.007454 (0.01489)		0.204122*** (0.01983)	0.439850*** (0.02434)	-0.012262 (0.03014)	-0.026189 (0.02438)	0.095104** (0.05332)
$\Delta MAC(-2)$	0.019930 (0.01635)		0.116149*** (0.02178)	0.177052*** (0.02673)	-0.025351 (0.03310)	-0.011351 (0.02677)	0.013578 (0.05856)
$\Delta GWE(-1)$	0.033335** (0.01877)	-0.064780 (0.07321)	0.028416* (0.02885)	-0.030465 (0.04703)	0.089543* (0.05823)	-0.125994*** (0.04710)	-0.044312 (0.10303)
$\Delta GWE(-2)$	-0.000425 (0.02838)	0.097493* (0.07024)		0.097202** (0.04641)	0.029878 (0.05746)	0.007093 (0.04647)	0.123666 (0.10166)
$\Delta RENIXX(-1)$	0.002764 (0.02585)	-0.067843 (0.06579)	-0.066052** (0.03443)		-0.363545 (0.05233)	0.079066* (0.04232)	0.078296 (0.09258)
$\Delta RENIXX(-2)$	0.038889** (0.02023)	0.007205 (0.06167)	-0.044702 (0.03227)		0.017329 (0.04905)	0.034981 (0.03967)	-0.091821 (0.08678)
$\Delta ERIX(-1)$	-0.013224 (0.01641)	-0.057416* (0.04177)	-0.022276 (0.02186)	0.011651 (0.02683)		0.166316*** (0.02687)	0.277486*** (0.05877)
$\Delta ERIX(-2)$	-0.029322 (0.01672)	0.008077 (0.04255)	-0.014784 (0.02227)	0.001164 (0.02733)		-0.051631** (0.02737)	0.124331*** (0.05987)
$\Delta GSPTXCT(-1)$	0.017825** (0.01018)	0.112216** (0.05823)	0.053401** (0.03047)	0.057503* (0.03740)	-0.003064 (0.04631)		-0.036266 (0.08194)
$\Delta GSPTXCT(-2)$	0.052800*** (0.02171)	0.009004 (0.05779)	0.013492 (0.03024)	0.006117 (0.03712)	0.089791** (0.04596)		0.074015 (0.08132)
$\Delta DWCAEG(-1)$	-0.008168 (0.00989)	0.009977 (0.02517)	0.000939 (0.01317)	-0.003549 (0.01617)	0.011099 (0.02002)	-0.004315 (0.01619)	
$\Delta DWCAEG(-2)$	0.013514* (0.00687)	0.014878 (0.02513)	0.007270 (0.01315)	0.009379 (0.01614)	0.038314** (0.01999)	0.042390*** (0.01617)	
C	-0.002287** (0.00114)	3.16E-05* (0.00031)	7.80E-06** (0.00016)	9.95E-06 (0.0002)	3.81E-05 (0.0023)	-3.12E-05*** (0.00322)	0.000737 (0.00475)
R ²	0.123850	0.026186	0.129676	0.235055	0.026701	0.056310	0.044276
Adj. R ²	0.112023	0.014387	0.1191131	0.225787	0.014908	0.044876	0.032697

Tabloda yer alan *, **, *** işaretleri t-tablo değerinden hesaplanmış sırasıyla %10, %5 ve %1 olasılık düzeylerini göstermektedir. Parantez içi işaretler “()” ise standart hata değerlerini göstermektedir.

Uzun dönem eşbütünleşme katsayıları incelendiğinde, MAC ve GSPTXCT endekslerinin katsayılarının pozitif olması, bu değişkenlerin YES endeksiyle uzun dönemde aynı yönde hareket etme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Buna karşılık GWE, RENIXX, ERIX ve DWCAEG endekslerine ait katsayıların negatif işaretli olması, bu endeksler ile YES arasında uzun dönemde ters yönlü bir ilişki bulunduğuna işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre YES endeksi belirli yenilenebilir enerji göstergeleriyle uzun vadede birlikte hareket ederken, bazılarıyla ise zıt yönde hareket etme eğilimindedir. Dolayısıyla pozitif katsayılı endeksler YES ile benzer uzun dönem dinamikleri paylaşıırken, negatif katsayılı endeksler uzun vadede ters yönlü bir ortak hareket eğilimine işaret etmekte olup, çeşitlendirme açısından olası sonuçlar bakımından ayrıca değerlendirilmelidir. VECM sonuçlarına göre uzun dönem denklemi şu şekildedir:

$$YES = -2.78 * MAC + 2.43 * GWE + 2.45 * RENIXX + 1.38 * ERIX - 0.88 * GSPTXCT + 0.37 * DWCAEG \quad (9)$$

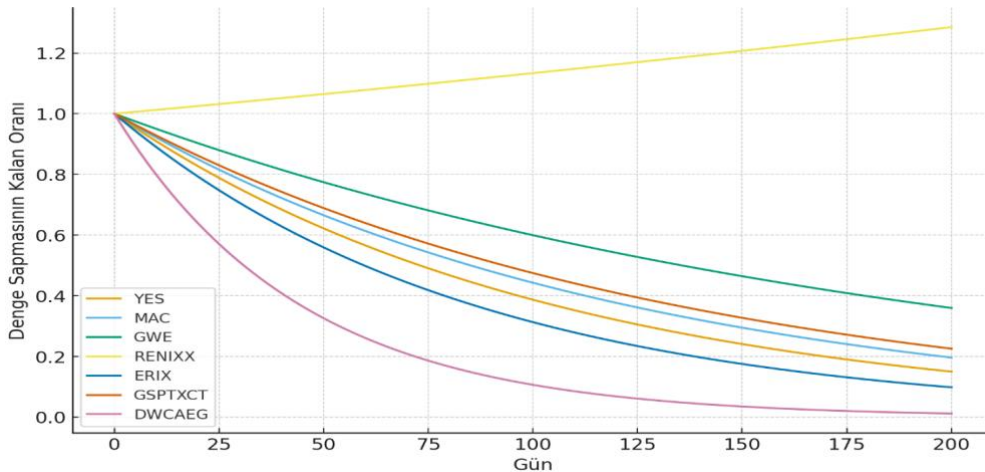
Bu sonuçlar, YES endeksinin uzun vadede bazı yenilenebilir enerji endeksleriyle birlikte hareket ettiğini, bazılarıyla ise ayrıştığını göstermektedir. GWE, RENIXX, ERIX ve DWCAEG ile negatif ilişki, bu endekslerin bulunduğu bir portföye YES'in dâhil edilmesiyle potansiyel çeşitlendirme imkânı sunduğunu; MAC ve GSPTXCT ile pozitif uzun dönem ilişkisi ise bu endekslerin YES ile aynı sepete konulması durumunda uzun vadeli getirilerin benzer yönde hareket edebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, piyasadaki

yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki yapısal farklılıkları yansıtırken, aynı zamanda Gregory–Hansen eşbütünleşme analizinden elde edilen uzun dönemli birlikte hareket etme ilişkisini de desteklemektedir.

Tablo 10'un üçüncü panelinde yer alan kısa dönem VECM sonuçlarına göre, YES endeksindeki kısa dönemli değişimler üzerinde GWE, RENIXX, GSPTXCT ve DWCAEG endekslerinin belirli gecikmelerinin istatistiksel olarak anlamlı etkileri bulunmaktadır. Bulgular, YES'teki kısa dönemli hareketlerin GWE'nin bir dönem gecikmeli değeri ile RENIXX'in iki dönem gecikmeli değeri tarafından pozitif yönde açıklandığını göstermektedir. Ayrıca GSPTXCT endeksinin bir ve iki dönem gecikmeli değerlerinin, YES endeksi üzerinde kısa dönemde anlamlı ve pozitif etkiler yarattığı görülmektedir. DWCAEG endeksinin iki dönem gecikmeli değeri de YES üzerinde sınırlı düzeyde pozitif bir etkiye sahiptir. Buna karşılık, MAC ve ERIX endekslerinin gecikmeli değişimleri ile YES arasında kısa dönemde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Bu bulgular, YES endeksinin kısa vadede özellikle küresel yenilenebilir enerji ve temiz teknoloji göstergeleriyle birlikte hareket ettiğine işaret etmektedir. Diğer taraftan YES endeksinin bir gecikmeli değerleri, GWE ve RENIXX endekslerinin kısa dönem dinamikleriyle pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde ilişkili görünmektedir. Bu bulgu, YES'in kısa dönemde yalnızca etkilenen bir endeks olmaktan ziyade, aynı zamanda bazı küresel ve sektörel enerji endekslerinin kısa dönem hareketleri açısından bilgi içeriği taşıyabileceğine işaret etmektedir.

Modelin uyum performansını temsil eden düzeltilmiş R^2 değeri YES endeksindeki değişimlerin yaklaşık %11'inin model tarafından açıklandığını göstermektedir. Finansal serilerdeki yüksek oynaklık altında böyle bir açıklama gücü azımsanmayacak düzeydedir. MAC ve ERIX için anlamlı katsayı elde edilememiş olması, bu değişkenlerden YES'e yönelik kısa dönemli bilgi akışına ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir kanıt bulunmadığına işaret etmektedir.

Tablo 10'un ikinci panelinde yer alan HDK ve şekil 4'te yer alan grafik, seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi bozulduğunda düzeltme ile ilgili bilgi sağlamaktadır. Dolayısıyla HDK, dengede meydana gelen bozulma sonrası tekrar dengelenme süresi ile ilgili bilgi sağlamaktadır. HDK'nın negatif ve 0 ile 1 arasında olması bir denge noktasının varlığını göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, YES değişkeni için tespit edilen uyum katsayısı -0,009458 değerindedir ve sonuç %5 seviyesinde anlamlıdır. Bu sonuç, YES endeksinin uzun dönemde meydana gelen dengesizliği her gün %0,9 düzelterek denge noktasına yaklaştırmaktadır. Bu çerçevede, YES değişkeninin hata düzeltme mekanizmasına verdiği tepki, YES'in uzun dönem dengesinden sapmaların giderilmesi sürecinde uyum sağlayan bir değişken gibi davrandığına işaret etmektedir. YES değişkeni meydana gelen sapmaları ortalama 106 günde düzeltmekte ve denge noktasına gelmektedir. Şekil 4, diğer endekslerin de dengeye dönüş sürelerini göstermektedir. RENIXX endeksi pozitif katsayı ile sapmaları büyütme eğilimi gösterdiği, en hızlı dengeye dönüşü 45 gün ile DWCAEG endeksinin gerçekleştirdiği belirlenmiştir. GWE endeksi 196 gün ile en yavaş dengeye dönüş gerçekleştiren bir endeks iken, ERIX endeksi YES ile benzer sürelerde dengeye dönüş sergilemektedir. Bu bulgular, yenilenebilir enerji endeksleri arasında uzun dönem şoklara tepki hızının heterojen olduğunu, Türkiye YES endeksinin diğer endekslere kıyasla orta düzey uyum hızına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Yenilenebilir enerji endekslerinde uzun döneme dengeye dönüş süresi

VECM tahmin sonuçlarının geçerliliğini değerlendirmek amacıyla model tanılamalarına ilişkin çeşitli artık testleri uygulanmıştır. Bu kapsamda, artıklar arasında otokorelasyonun varlığı VAR/VECM LM testi ile sınanmış; normal dağılım varsayımı Jarque–Bera testi kullanılarak değerlendirilmiş; değişen varyans problemi ise ARCH-LM testi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, model artıklarında istatistiksel olarak anlamlı bir otokorelasyon ve ARCH etkisinin bulunmadığını, normalite varsayımının ise genel olarak sağlandığını göstermektedir. Bu bulgular, tahmin edilen VECM modelinin istatistiksel açıdan tutarlı ve güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 11. VECM model tanılamaları

Test	Gecikme	Test İstatistiği	df	p-değeri	Sonuç
LM (Seri Korelasyon)	1	60.21	49	0.1310	Otokorelasyon yok
LM (Seri Korelasyon)	2	54.34	49	0.2782	Otokorelasyon yok
LM (Seri Korelasyon)	3	60.22	49	0.1306	Otokorelasyon yok
LM (Joint)	1–3	171.28	147	0.0833	Otokorelasyon yok
Jarque–Bera	Joint (Multivariate)	8448.844	14	0.0000	Normalite reddedildi
White / ARCH	Joint	2604.09	840	0.0000	Heteroskedastisite var

Tablo 11’de sunulan VECM model tanılamaları, tahmin edilen modelin istatistiksel varsayımlarının büyük ölçüde sağlandığını göstermektedir. Öncelikle, VAR/VECM LM testi sonuçlarına göre model artıklarında seri korelasyon bulunmadığı tespit edilmiştir. Hem tekil gecikmeler (1–3) hem de 1–3 gecikmeleri kapsayan ortak testlerde sıfır hipotezi reddedilememiştir. Bu bulgu, modelin dinamik yapısının uygun biçimde tanımlandığını ve gecikme yapısının yeterli olduğunu göstermektedir.

Buna karşılık, çok değişkenli Jarque–Bera testi sonuçları, model artıklarının normal dağılım varsayımını ihlal ettiğine işaret etmektedir. Ancak finansal zaman serilerinde, özellikle günlük frekansta elde edilen getiri verilerinde çarpıklık ve aşırı basıklık yaygın olarak gözlenen bir durumdur. Literatürde, bu tür normalite sapmalarının özellikle büyük örneklemelerde asimptotik özellikler çerçevesinde (Gonzalo, 1994) ve rejim değişimleri ile yapısal şokların söz konusu olduğu durumlarda (Hansen ve Seo, 2002), eşbütünleşme ve VECM katsayı tahminlerinin tutarlılığını ve ampirik geçerliliğini zayıflatmadığı kabul edilmektedir.

Benzer şekilde, White tipi heteroskedastisite testi sonuçları, model artıklarında değişen varyans yapısının varlığını göstermektedir. Finansal piyasalarda oynaklığın zamana bağlı olarak değişmesi, özellikle enerji ve emtia bağlantılı endekslerde beklenen bir özelliktir. Bu nedenle tespit edilen heteroskedastisite, modelin uzun dönem eşbütünleşme ilişkileri ile kısa dönem dinamiklerinin yorumlanabilirliğini sınırlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmemektedir (Engle, 1982; Seo, 1999).

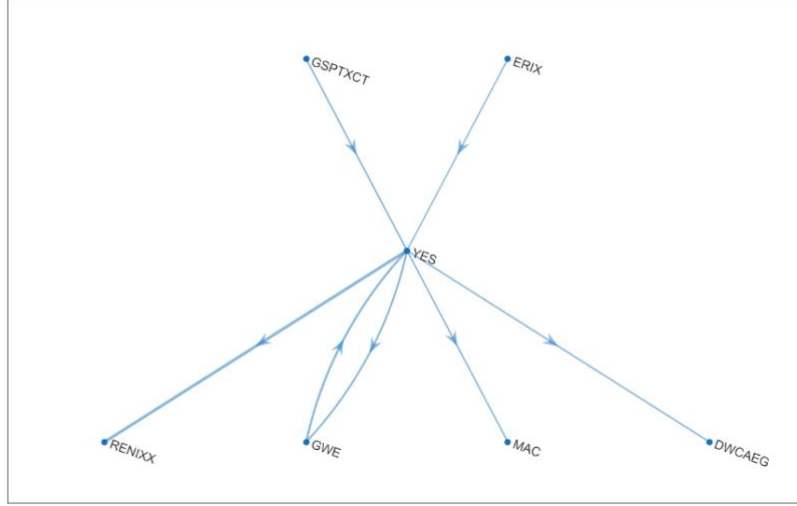
Genel olarak değerlendirildiğinde, VECM modelinin temel varsayımlarından biri olan otokorelasyonsuzluk koşulunun sağlandığı, normalite ve homoskedastisite varsayımlarında ise finansal zaman serilerine özgü sapmaların bulunduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, modelin istatistiksel açıdan tutarlı olduğunu ve elde edilen uzun ve kısa dönem bulguların güvenilir biçimde yorumlanabileceğini göstermektedir.

Ekonometrik analizin bir sonraki aşamasını nedensellik analizi oluşturmaktadır. Birinci farkta durağan olduğu belirlenen seriler için fark alma işlemi uygulandıktan sonra nedensellik sınaması yapılmıştır. Nedensellik analizi bir seriyi tahmin etmede diğer verilerin etkisinin olup olmadığını ortaya koymaktadır. Eğer bir X değişkeninin tahmin etmede Y değişkeninin geçmiş verileri tahmin gücünü artırıyorsa, Y değişkeni X değişkeninin nedenidir (Granger, 1969). Bu tek taraflı nedensellik ilişkisinin göstermektedir. Bazen nedensellik ilişkisi karşılıklı da olabilmektedir. Yani Y değişkeni X değişkenini tahminde doğruluğu artırırken, diğer taraftan X değişkeni de Y değişkeninin tahmin gücünü artırmaktadır. Bu durum X ile Y arasında iki yönlü nedensellik ilişkisinin varlığını göstermektedir (Bhattacharjee ve Das, 2020). Granger’a (1969) göre nedensellik analizin denklemi şu şekildedir:

$$X_t = \sum_{j=1}^m a_j X_{t-j} + \sum_{j=1}^m b_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (10)$$

$$Y_t = \sum_{j=1}^m c_j X_{t-j} + \sum_{j=1}^m d_j Y_{t-j} + \eta_t \quad (11)$$

Denklemlerde yer alan “m” gecikme uzunluklarını, “ ε_t ” ve “ η_t ” sırasıyla 10 ve 11 nolu denklem için hata terimlerini ve “t” ise dönemleri ifade etmektedir. (10) nolu denklem X’ten Y’ye, (11) nolu denklem Y’den X’e nedenselliği ifade etmektedir.



Şekil 5. Granger nedensellik analizi sonuçları

Şekil 5'te VECM modeline dayalı Granger nedensellik analizi sonuçları verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, GSPTXCT ve ERIX endekslerinden Türkiye yenilenebilir enerji sektörüne doğru Granger nedensellik ilişkisine işaret eden bulgular elde edilmiştir. Bulgular, uluslararası yenilenebilir enerji endeksleri ile Türkiye yenilenebilir enerji piyasası arasında yönlü (öngörü gücüne dayalı) ilişkilerin varlığına işaret etmektedir. Özellikle GSPTXCT ve ERIX değişkenlerinden YES değişkenine doğru tek yönlü nedensellik bulgusu, küresel piyasalarda oluşan fiyat sinyallerinin Türkiye'ye kısa dönemde yansiyabildiğine işaret etmektedir. Bu durum, yatırımcı duyarlılığı, politika beklentileri ve sektörel haber akışlarının Türkiye piyasasında rol oynayabileceğini göstermektedir.

YES ile GWE arasındaki çift yönlü nedensellik, karşılıklı öngörü gücü ilişkisini göstermektedir. Bu durum, rüzgâr enerji piyasalarındaki gelişmelerin Türkiye piyasalarına yansiyabileceğini ve Türkiye piyasa hareketlerinin de küresel rüzgâr endeksiyle kısa dönemli ilişki içinde olabileceğini göstermektedir.

Son olarak, YES'ten MAC, DWCAEG ve RENIXX endekslerine doğru tek yönlü nedensellik, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasının bazı uluslararası piyasalar için kısa dönemli öngörü/öncül bilgi içerebileceğine işaret etmektedir. Bu sonuç, Türkiye piyasasındaki fiyat hareketlerinin küresel yatırımcılar tarafından yakından takip edildiğini gösterebilecek bulgular sunmaktadır. Bu ilişkinin, yatırımcıların portföy dengeleme davranışları ve kısa vadeli spekülasyon etkileşimlerinden kaynaklandığı değerlendirilebilir.

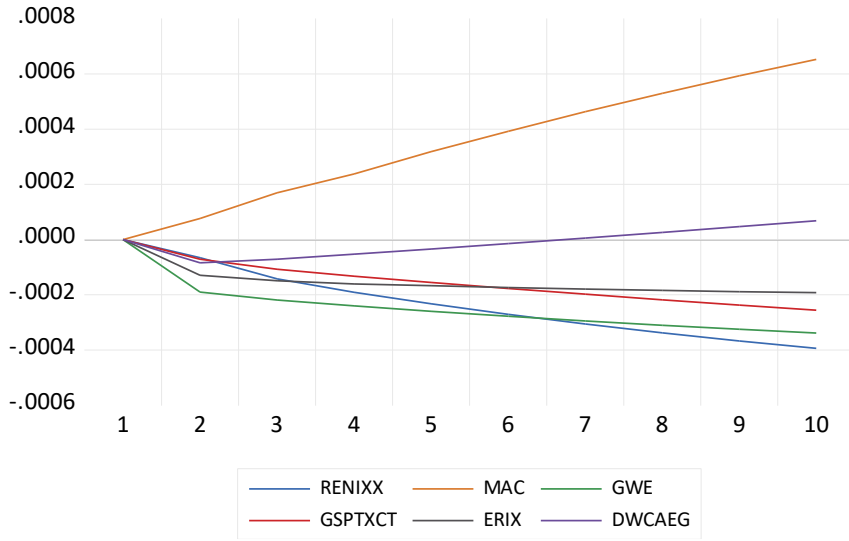
Genel bulgular, YES endeksinin hem bilgi alan hem de bilgi yayan bir yapıya sahip olduğuna ve uluslararası enerji piyasaları ile belirli ölçüde karşılıklı etkileşim ve yönlü ilişki kanallarının bulunabileceğine işaret etmektedir.

Yenilenebilir enerji endeksi bağlamında literatür kanıtları bulunmadığından, nedensellik sonuçları piyasa endeksleri arasındaki ilişkiler ele alınarak yorumlanmıştır. Elde edilen bulgular, Dow Jones ile BİST100 arasında çift yönlü nedensellik ilişkisini belirleyen Ayaydın vd.'nin (2020) çalışmasından farklılaşmakta ve Dow Jones'den BİST100'e tek yönlü nedensellik ilişkisi belirleyen Bulut ve Özdemir'in (2012) çalışmalarını desteklemektedir. GWE ve GSPTXCT ile YES arasındaki nedensellik sonuçları değerlendirildiğinde, iki yönlü ilişkinin varlığının borsalar için geçerli olduğuna ilişkin kanıtlar bulunmaktadır. Yıldırım ve Kesebir'in (2019) S&P ile BİST100 arasında iki yönlü nedensellik tespit eden çalışması desteklenmektedir. Bu sonuçlardan farklılaşan literatür kanıtları da bulunmaktadır (Ulusoy, 2019; Kendirli vd., 2022). NYSE'den BİST100'e tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit eden Nazlıoğlu ve Kök'ün (2021) sonuçlarından farklı olarak BİST100'de yer alan YES değişkeninden NYSE borsasında bulunan MAC endeksine doğru nedensellik tespit edilmiştir.

NASDAQ borsasında yer alan GWE sektörel endeksi ile YES arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin varlığı Kendirli vd.'nin (2022) sonuçlarından farklılaşmaktadır. ERIX değişkeninin YES değişkeni nedeni olarak belirlenmiştir. Piyasa endeksi bağlamında literatür incelendiğinde S&P/TSX'den BİST100'e doğru nedenselliği tespit eden Ulusoy'un (2019) çalışmasından farklılaşan bulgulara ulaşılmıştır. Son olarak küresel yenilenebilir enerji endeksi ile YES arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde, iki değişken arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Granger nedensellik analizinden sonra, değişkenler arasındaki dinamik etkileşimi daha ayrıntılı değerlendirebilmek için modelin dürtü-tepki fonksiyonları incelenmiştir. Dürtü-tepki fonksiyonları, modeldeki değişkenlerden birine uygulanan bir şokun diğer değişken üzerinde zaman içinde nasıl bir etki yarattığını göstermektedir. Şekil 5'te YES değişkeni için dürtü-tepki fonksiyonu verilmiştir.

YES Endeksi Dürtü-Tepki Fonksiyonu (IRF)



Şekil 5. Dürtü-Tepki fonksiyonları

YES endeksine verilen pozitif şok sonrasında MAC endeksi belirgin bir şekilde pozitif tepki vermiş ve bu tepki analiz ufku olan 10 günlük sürede artarak devam etmiştir. Bu bulgu, MAC endeksinin YES kaynaklı olumlu piyasa koşullarına olumlu tepkiler verdiğini göstermektedir. Buna karşılık RENIXX endeksi ilk dönemden itibaren istikrarlı bir şekilde negatif tepki vermiştir. GWE, GSPTXCT ve ERIX endeksleri, YES şokuna negatif tepki vermiştir. DWCAEG ise, analiz edilen ufkun ilk dönemlerinde negatif tepki verirken, devam eden dönemde pozitif yönlü tepkiye dönmüştür. Genel olarak, dürtü-tepki analizi YES endeksine verilen bir şokun MAC ve DWCAEG üzerinde pozitif, RENIXX, GWE, ERIX ve GSPTXCT üzerinde negatif etkiler yarattığını göstermektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Son yıllarda iklim değişikliği ile mücadele, enerji arz güvenliği ve jeopolitik gelişmelerin etkisiyle yenilenebilir enerji yatırımlarında önemli bir ivme yaşanmıştır. Rusya-Ukrayna savaşı sonrasında fosil yakıt tedarik zincirlerinde gözlenen kırılganlık, birçok ülkeyi yenilenebilir kaynaklara daha hızlı yönlendirmiştir. Bu durum hem küresel yenilenebilir enerji şirketlerine hem de yerel piyasalara olan yatırımcı ilgisini artırmıştır. Türkiye'de de yenilenebilir enerji şirketlerinin Borsa İstanbul'da önemli bir yer edinmesi, sektörel bir endeks ihtiyacını gündeme getirmiştir. Bu çalışmada, Türkiye için PCA yöntemiyle oluşturulan YES endeksi ile ABD ve küresel yenilenebilir enerji endeksleri arasındaki kısa ve uzun dönemli entegrasyon ve nedensellik ilişkileri zaman serisi analizi yöntemi ile incelenmiştir.

Geleneksel ve yapısal kırılmalı birim kök testleri sonrası elde edilen analiz bulguları, serilerin logaritmik değerlerinin düzeyde durağan olmadığını ve birinci farkları alındığında durağanlaştığını göstermektedir. Gregory-Hansen yapısal kırılmalı eşbütünleşme test sonuçları, YES ile tüm uluslararası yenilenebilir enerji endeksleri arasında yapısal kırılma altında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisine işaret etmektedir. Bu sonuç, endekslerin uzun vadede ortak bir denge ilişkisi etrafında birlikte hareket etme eğiliminde olabileceğini

göstermektedir. Dolayısıyla uzun dönem portföy çeşitlendirme imkanının sınırlı olabileceği değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, Borsa İstanbul ile gelişmiş piyasa endeksleri (S&P, Dow Jones, Nasdaq) arasındaki eşbütünleşmeyi araştıran Bulut ve Özdemir (2012), Ayaydın vd. (2020) ve Karahan'ın (2023) çalışmalarının sonuçlarını genel olarak destekler niteliktedir. Dolayısıyla araştırma sonucu, Borsa İstanbul ile gelişmiş piyasa endeksleri arasındaki entegrasyonu ortaya koyan önceki çalışmaları tamamlayıcı ampirik kanıtlar sunmaktadır.

VECM analizine göre uzun dönem katsayıları, YES'in MAC ve GSPTXCT ile aynı yönde GWE, RENIXX, ERIX ve DWCAEG ile ters yönde ilişki içinde olduğunu göstermektedir. Hata düzeltme katsayısının negatif ve anlamlı olması, YES'in uzun dönemde dengeden sapmaları zaman içinde giderme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Kısa dönem sonuçları ise YES'in özellikle GWE, RENIXX, GSPTXCT ve DWCAEG endekslerinden istatistiksel olarak etkilendiğini ve buna karşılık YES'in gecikmeli değerlerinin de bazı küresel endekslerin kısa süreli hareketleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Granger nedensellik analizi bulguları, VECM sonuçlarından elde edilen bulguları yönsel olarak destekler niteliktedir. YES ile GWE arasında çift yönlü nedensellik, GSPTXCT ve ERIX'ten YES'e doru tek yönlü nedensellik ve YES'ten MAC, DWCAEG ve RENIXX'e doğru tek yönlü istatistiksel nedensellik ilişkileri belirlenmiştir. Bu bulgular, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasının hem bilgi alan hem de bilgi yayan bir yapıda olduğunu ve küresel yenilenebilir enerji piyasaları kısa dönemli etkileşimler içinde olduğunu göstermektedir. Dürtü-tepki analizi ise bu sonuçları dinamik olarak desteklemiş; YES'e verilen bir şok MAC ve DWCAEG endekslerini pozitif yönde ve RENIXX, GWE, ERIX ve GSPTXCT endeksleri ise negatif yönde kısa vadede etkileyebildiği tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, finansal liberalizasyon sonrasında ABD ve Türkiye borsalarının karşılıklı etkileşimlerinin yenilenebilir enerji sektörü özelinde gözlemlenebildiğini göstermektedir. Analiz sonuçları, bu iki ülke arasındaki piyasa entegrasyonunun sektörel düzeyde de geçerli olabileceğine dair ampirik göstergeler sunmaktadır. Özellikle son dönemde portföylere eklenen yenilenebilir enerji hisse ve fonlarının, riski azaltacak çeşitlendirme yapılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Ancak çalışmada elde edilen eşbütünleşme ilişkileri dikkate alınrsa, söz konusu endekslerin birlikte hareket ettikleri ve bu sonucun stratejik portföy çeşitlendirmesi potansiyelini sınırlandırabileceği değerlendirilmektedir. Buna karşılık kısa dönemli nedensellik ilişkileri ve ilişki yönleri, taktiksel rotasyon, hedge stratejileri ve kısa vadeli pozisyonlanma açısından kullanılabilecek bir çerçeve sunmaktadır. Özellikler GWE ve GSPTXCT endeksleri ile olan çift yönlü etkileşim, kısa vadeli fırsatların değerlendirilmesi için açık kapı sunmaktadır.

Türkiye'de resmi bir yenilenebilir enerji endeksinin bulunmaması, piyasa temsil gücü ve düzenleyici şeffaflık açısından önemli bir eksiklik olarak değerlendirilebilir. Çalışmada PCA ile geliştirilen YES endeksi, BIST bünyesinde resmi bir yenilenebilir enerji endeksinin tasarlanması için sektör kapsamı, temsil gücü ve likidite kriterlerine ilişkin ön bulgular ve referans bir çerçeve sunmaktadır. Bulgular, böyle bir endeksin hem yatırımcılar hem de politika yapımcılar için karşılaştırılabilirlik, şeffaflık ve piyasa derinliği açısından katkı sağlayabileceğine işaret etmektedir.

YES'in özellikle GSPTXCT ve ERIŞ gibi ABD/küresel endekslerden etkilendiği göz önüne alındığında, bu endeksler risk izleme göstergesi olarak kullanılabilir. Bu kapsamda, belirli volatilite eşliğinin aşılması veya kısa dönemli yapısal kırılmaların tespit edilmesi durumunda Türkiye piyasasında beklenen reaksiyonun erken belirlenmesi mümkün olabilir. Böylece fon yöneticileri, risk yönetimi ve portföy koruma stratejilerini daha etkin planlayabilirler.

Sonuç olarak çalışma, Türkiye yenilenebilir enerji piyasasının küresel piyasalar yüksek düzeyde etkileşim içinde olduğunu ve fiyatlama davranışlarının uluslararası faktörlerden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Bulgular yatırımcılar, fon yöneticileri ve piyasa düzenleyicileri için hem uzun dönemli entegrasyon hem de kısa dönemli dinamik etkileşimlere ilişkin yol gösterici ampirik bulgular sunmaktadır. Ayrıca elde edilen ilişkilerin gelecekte makroekonomik göstergeler, yatırımcı duyarlılığı ve piyasa mikro yapısı ile genişletilmesi, yenilenebilir enerji piyasalarının daha bütünsel bir perspektifle analiz edilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akarsu, G. (2022). Volatility spillover among BIST sector indices, SP500 index and USD/TRY exchange rate: stochastic volatility modelling, in VI. *Anadolu Uluslararası İktisat Kongresi*, Eskişehir, 13-15 Mayıs 2022, Anadolu Üniversitesi, 73.
- Alpar, G. (2019). Geçmişten günümüze kültürel unsurların sömürge amaçlı kullanımı, *Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (1), 204-222.
- Angelini, E., Birindelli, G., Chiappini, H., and Foglia, M. (2022). Clean energy indices and brown assets: An analysis of tail risk spillovers through the VAR for VaR model, *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 1-28.
- Arı, E. ve Yıldız, A. (2017). Eşbütünleşme analizi ile genç işsizliği etkileyen değişkenlerin araştırılması, *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, 5(2), 309-316.
- Ayaydın, H., Barut, A., and Pala, F. (2020). Long-Term relationship between G-7 country's stock markets and BİST100: Fourier approach, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 24-34.
- Aykırı, M. ve Bulut, Ö. U. (2018). İnsani gelişme endeksi, inovasyon ve büyümenin nedensellik analizi, Karakaş, A. ve İyem, C., (Ed.), V. *International Caucasus-Central Asia Foreign Trade and Logistics Congress*, Aydın, 7-8 September 2018, Adnan Menderes Üniversitesi, 1080-1089.
- Bala, D. A., and Takimoto, T. (2017). Stock markets volatility spillovers during financial crises: A DCC-MGARCH with skewed-t density approach, *Borsa Istanbul Review*, 17(1), 25-48. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2017.02.002>.
- Bai, J., and Ng, S. (2002). Determining the number of factors in approximate factor models, *Econometrica*, 70(1), 191-221.
- Bai, J., and Ng, S. (2021). Matrix completion, counterfactuals, and factor analysis of missing data, *Journal of the American Statistical Association*, 116(536), 1746-1763.
- Başoğlu, U. (2000). Finansal serbestleşme ve uluslararası portföy yatırımları, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(4), 87-99.
- Bekaert, G., and Harvey, C. R. (1995). Time-varying world market integration, *The Journal of Finance*, 50(2), 403-444. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1995.tb04790.x>
- Bekmez, S., ve Özpolat, A. (2013). Türkiye'de konut talebinin belirleyenleri: Dinamik bir analiz, *TISK Academy/TISK Akademi*, 8(16).
- Bulut, Ş., and Özdemir, A. (2012). İstanbul menkul kıymetler borsası ve "Dow Jones Industrial" arasındaki ilişki: Eşbütünleşme analizi, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 19(1), 211-224.
- Caporale, G. M., Spagnolo, N., and Almajali, A. (2022). Fossil and renewable energy stock indices: Connectedness and the COP meetings, (CESifo Working Paper No. 9824).
- Choudhry, T. (2004). International transmission of stock returns and volatility: Empirical comparison between friends and foes, *Emerging Markets Finance and Trade*, 40(4), 33-52.
- Çelik, İ. ve Bozkuş Kahyaoğlu, S. (2021). *Finansal Zaman Serisi Analizi Finansçılar İçin Temel Yaklaşımlar*, Ankara, Gazi Kitabevi.
- Çelik, T., ve Boztosun, D. (2010). Türkiye borsası ile asya ülkeleri borsaları arasındaki entegrasyon ilişkisi, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (36), 57-71.
- Dinar, G. B. (2012). Finansal liberalizasyon ve ekonomik büyüme: Bir literatür çalışması, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(8), 109-135.
- El Khoury, R., Nasrallah, N., Hussainey, K., and Assaf, R. (2023). Spillover analysis across FinTech, ESG, and renewable energy indices before and during the Russia-Ukraine war: International evidence, *Journal of International Financial Management & Accounting*, 34(2), 279-317.
- Enders, W. (1995). *Applied Econometric Time Series*, New York, John Wiley&Son,

- Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2024. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2024%20y%C4%B1%C4%B1%20Aral%C4%B1k%20ay%C4%B1%20sonu,g%C3%BCc%C3%BC%20115.975%20MW'a%20ula%C5%9Fm%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 20.11.2025).
- European Commission. (2022). REPowerEU Plan: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy, <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376> (Erişim Tarihi: 24.11.2025).
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models, *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), 339-350.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 987-1007. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Engle, R. F., and Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 55(2), 251-276.
- Ertan, A. (2009). Evaluation of linkages between equity indices: evidence from İstanbul Stock Exchange and Dow Jones, Master's thesis, Bilkent Üniversitesi.
- Field, A. (2000). *Discovering Statistics using SPSS for Windows*, London: Thousand Oaks, New Delhi: Sage Publications.
- Forbes, K. J., and Rigobon, R. (2002). No contagion, only interdependence: Measuring stock market comovements, *The Journal of Finance*, 57(5), 2223-2261. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00494>
- Gonzalo, J. (1994). Five alternative methods of estimating long-run equilibrium relationships. *Journal of Econometrics*, 60(1-2), 203-233. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)90044-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)90044-2)
- Gök, İ. Y. ve Kalaycı, S. (2015). Endeks futures piyasalar arasında uluslararası etkileşimler: Türkiye ve ABD piyasaları üzerinde sıcak dalga ve meteor yağmuru hipotezlerinin sınanması, *Business and Economics Research Journal*, 6(4), 39-53. Doi: 10.20409/berj.2023.425
- Gökmen, O., ve Çömlekçi, İ. (2018). Turizm endeksleri arasındaki eşbütünleşme ilişkisi, *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, 15(2), 273-286. <https://doi.org/10.24010/soid.453157>.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica: Journal of The Econometric Society*, 424-438.
- Gregory, A. W., and Hansen, B. E. (1996). Residual-based tests for cointegration in models with regime shifts, *Journal of Econometrics*, 70(1), 99-126.
- Gujarati, D. N. (1995), *Basic Econometrics*, 4th Edition, New York: McGraw-Hill.
- Güloğlu, B., ve Altunoğlu, E. (2002). Finansal serbestleşme politikaları ve finansal krizler: Latin Amerika, Meksika, Asya ve Türkiye krizleri, *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, (27), 107-134.
- Güneş, H. (2024). Borsa endeksleri arasında uzun dönemli ilişkinin tespiti. *Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 1-18. <https://doi.org/10.52736/ubeyad.1352446>.
- Güzel, F., Uçan, O., ve Acar, M. (2019). Borsa İstanbul'un gelişmiş ve gelişmekte olan ülke borsaları ile eşbütünleşme analizi, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (54), 25-45.
- Hansen, B. E., & Seo, B. (2002). Testing for two-regime threshold cointegration in vector error-correction models. *Journal of Econometrics*, 110(2), 293-318. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(02\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(02)00097-0)
- Hassan, M. K., and Naka, A. (1996). Short-run and long-run dynamic linkages among international stock markets, *International Review of Economics & Finance*, 5(4), 387-405. [https://doi.org/10.1016/S1059-0560\(96\)90025-8](https://doi.org/10.1016/S1059-0560(96)90025-8).
- Irmak, F., and Şahin, E. (2025). Determinants of Renewable Energy Sector Performance: Borsa İstanbul Time Series Application, Dayi, F. (Ed.), *Finance of Renewable Energy in a Sustainable World*, Nova, New

York, 197-210.
https://www.researchgate.net/publication/392360905_Determinants_of_Renewable_Energy_Sector_Performance_Borsa_Istanbul_Time_Series_Application

- Jolliffe, I. (2011). Principal component analysis, Lovric, M. (Ed.), *In International Encyclopedia of Statistical Science*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1094-1096.
- Karaer, M., ve Tatlıdil, H. (2019). Türkiye'deki 81 ilin bazı sağlık göstergeleri ile temel bileşenler analizi ve gri ilişkisel analiz açısından değerlendirilmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(1), 44-54.
- Karakoç, B. (2020). Foreign capital, real sector financing and excessive leverage in Turkey: What went wrong. *EMAJ: Emerging Markets Journal*, 10(1), 30-39.
- Karahan, F. (2023). BİST 100 endeksinin uluslararası hisse senedi endeksleri ile ilişkisi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (78), 448-458.
- Kendirli, S., Şenol, F. Y., and Ergenoğlu, S. (2022). Analysis of the relationship between cryptocurrency index (CCi30), BİST 100, and NASDAQ with Granger causes test, *Quantrade Journal of Complex Systems in Social Sciences*, 4(2), 35-43.
- Kılıçarslan, A. (2023). Yenilenebilir enerji sektörü şirketlerinin finansal performans analizi: Borsa İstanbul'da bir uygulama, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 232-253.
- Li, Y., and Giles, D. E. (2015). Modelling volatility spillover effects between developed stock markets and Asian emerging stock markets, *International Journal of Finance & Economics*, 20(2), 155-177. <https://doi.org/10.1002/ijfe.1506>.
- Mangır, F., ve Yılmaz, M. L. (2009). Uluslararası sermaye hareketleri ve finansal liberalizasyonun etkileri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 12(1-2), 191-212.
- Mensi, W., Hammoudeh, S., Nguyen, D. K., and Kang, S. H. (2016). Global financial crisis and spillover effects among the US and BRICS stock markets, *International Review of Economics & Finance*, 42, 257-276.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection, *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Mutlu, S., Aktaş, R., ve Kayalıdere, K. (2023). BİST 30 endeksi ve uluslararası hisse senedi piyasaları arasındaki volatilité etkileşiminin çok değişkenli stokastik volatilité modeli ile araştırılması, *Business & Management Studies: An International Journal*, 11(4), 1321-1337.
- Nazlıoğlu, E. H., and Kök, D. (2021). Contagion in Turkish Stock Market: Evidences from Developed and Emerging Markets, *Ege Academic Review*, 21(4), 407-425. <https://doi.org/10.21121/eab.1015640>
- Özdemir, L. and Vurur, S. (2019). Volatility spillovers between BİST100 Index and S&P500 Index", Grima, S., Özen, E., Boz, H., Spiteri, J. and Thalassinou, E. (Ed.), *Contemporary Issues in Behavioral Finance (Contemporary Studies in Economic and Financial Analysis*, Leeds, Emerald Publishing Limited, 29-43. <https://doi.org/10.1108/S1569-375920190000101003>
- Rastogi, S. (2013). Long-term association of stock markets of different nations: An empirical study. *Vision*, 17(4), 303-313. <https://doi.org/10.1177/0972262913505372>.
- Rehman, M. Z., Khan, S., Khan, U. A., Alonazi, W. B., and Noman, A. A. (2023). How do global uncertainties spillovers affect leading renewable energy indices? Evidence from the network connectedness approach, *Sustainability*, 15(18), 13630.
- Seyhan, N. ve Seyhan, B. (2022). Yenilenebilir enerji- ekonomik büyüme ilişkisi açısından Türkiye ve AB ülkelerinin malmquist endeksi ile performans incelemesi, *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 11 (2), 1022-1044. DOI: 10.15869/itobiad.937202
- Stock, J. H., and Watson, M. W. (2002). Macroeconomic forecasting using diffusion indexes, *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(2), 147-162.
- Şenol, Z., ve Türkay, H. (2020). Gelişmiş ve gelişmekte olan borsalar arasındaki oynaklık yayılımı, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 42(2), 361-385.

- Ulusoy, M. K. (2019). Borsa İstanbul'un küresel piyasalarla entegrasyonu, *Third Sector Social Economic Review*, 54(4), 1643-1653.
- West S. G., Finch J .F., and Curran P. J. (1995). Structural equation models with nonnormal variables: problems and remedies. Hoyle R. H., (Ed.), *Structural Equation Modeling: Concepts, Issues and Applications*, Newbery Park, CA: Sage, 56-75.
- Yağcılar, G. G. (2021). Borsa İstanbul'un bölgesel piyasalar ile entegrasyonu: Dinamik koşullu korelasyonlar ve yayılım endeksinden kanıtlar, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(3), 941-960.
- Yıldırım, H., ve Kesebir, M. (2019). Farklı büyüklükteki ekonomi ve finansal piyasalara sahip ülkelere ait borsa endeksleri arasındaki nedensellik ilişkisi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29(1), 249-259.
- Zhu M and Ghodsi A (2006). Automatic dimensionality selection from the scree plot via the use of profile likelihood, *Comput Stat Data Anal*, 51, 918-930. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2005.09.010>
- Zivot, E., and Andrews, D. W. K. (2002). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis, *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(1), 25-44.